



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**EVALUASI & RE-DESAIN INSTALASI PENGOLAHAN  
LIMBAH CAIR (IPLC) DOMESTIK  
STUDI KASUS IPLC GEDUNG MANGGALA WANABAKTI**

**SKRIPSI**

**GHANDES EVANA**

**06 06 07 80 46**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
DEPOK  
DESEMBER 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**EVALUASI & RE-DESAIN INSTALASI PENGOLAHAN  
LIMBAH CAIR (IPLC) DOMESTIK  
STUDI KASUS IPLC GEDUNG MANGGALA WANABAKTI**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat melengkapi  
sebagian persyaratan menjadi sarjana teknik**

**GHANDES EVANA**

**06 06 07 80 46**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
DEPOK  
DESEMBER 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Ghandes Evana**

**NPM : 0606078046**

**Tanda Tangan :**



**Tanggal : 30 Desember 2010**

## HALAMAN PENGESAHAN

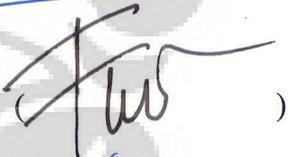
Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Ghandes Evana  
NPM : 0606078046  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Judul Skripsi : Evaluasi Dan Re-Desain Instalasi Pengolahan Limbah Cair (IPLC) Domestik, Studi Kasus IPLC Gedung Manggala Wanabakti

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

### DEWAN PENGUJI

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

Penguji : Ir. Firdaus Ali, MSc., Ph.D. (  )

Penguji : Ir. Irma Gusniani S., MSc. (  )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 30 Desember 2010

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah SWT serta shalawat dan salam yang selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, atas segala karunia dan petolongan-Nya skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi dengan judul “Evaluasi dan Re-Desain Instalasi Pengolahan Limbah Cair (IPLC) Domestik Studi Kasus IPLC Pada Gedung Manggala Wanabakti” ini disusun sebagai salah satu prasyarat dalam menyelesaikan studi program sarjana Strata 1 (S1) pada Program Studi Teknik Lingkungan Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Skripsi ini dapat selesai juga melalui bantuan dari berbagai pihak. Karenanya saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Ibu Sukeksi, Almarhum Bapak Suyudono, Sigap, dan Zula, serta seluruh keluarga besar saya atas doanya yang tidak pernah putus dalam menyertai setiap langkah hidup saya, juga Ibu Marsini, Bapak Ramijo, Mas Agung, Mas Ari, dan Mba Iva, serta seluruh keluarga di Batang atas segala doa dan kasih sayang yang tercurah;
- (2) Bapak Dr. Ir. Setyo Sarwanto Moersidik, DEA selaku satu-satunya dosen pembimbing seminar yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini, juga BaBapak Ir. Firdaus Ali, MSc., Ph.D. dan Ibu Ir. Irma Gusniani S., MSc. selaku dosen-dosen penguji skripsi saya yang telah memberikan saran dan rekomendasi yang membangun bagi revisi skripsi saya;
- (3) Para dosen pada Program Studi Teknik Lingkungan khususnya dan dosen Departemen Teknik Sipil secara umumnya atas bimbingan ilmu, motivasi, dan semangat yang diberikan untuk terus menggali ilmu dan memberikan manfaat bagi sesama.
- (4) Bapak Soedarto, Bapak Supriyono (sekretaris Bapak Darto), Ibu Suci, Bapak Yusuf, Bapak Purnomo, dan Bapak Suminto yang dengan tulus hati selalu membantu saya menghimpun data-data terkait Gedung Manggala Wanabakti, juga Bapak Ahmad, Mas Ihsan dan Bapak Sudibyو yang telah bersusah-payah mengelilingi danau mengambil sampel air danau untuk saya. Bapak

Parjito, Bapak Rustaim, Bapak Heri, Bapak Herman, Mas Ade, dan seluruh personil Tim Badan Pengelola Gedung Mangala Wanabakti yang telah dengan sangat baik hati menemani dan membantu saya;

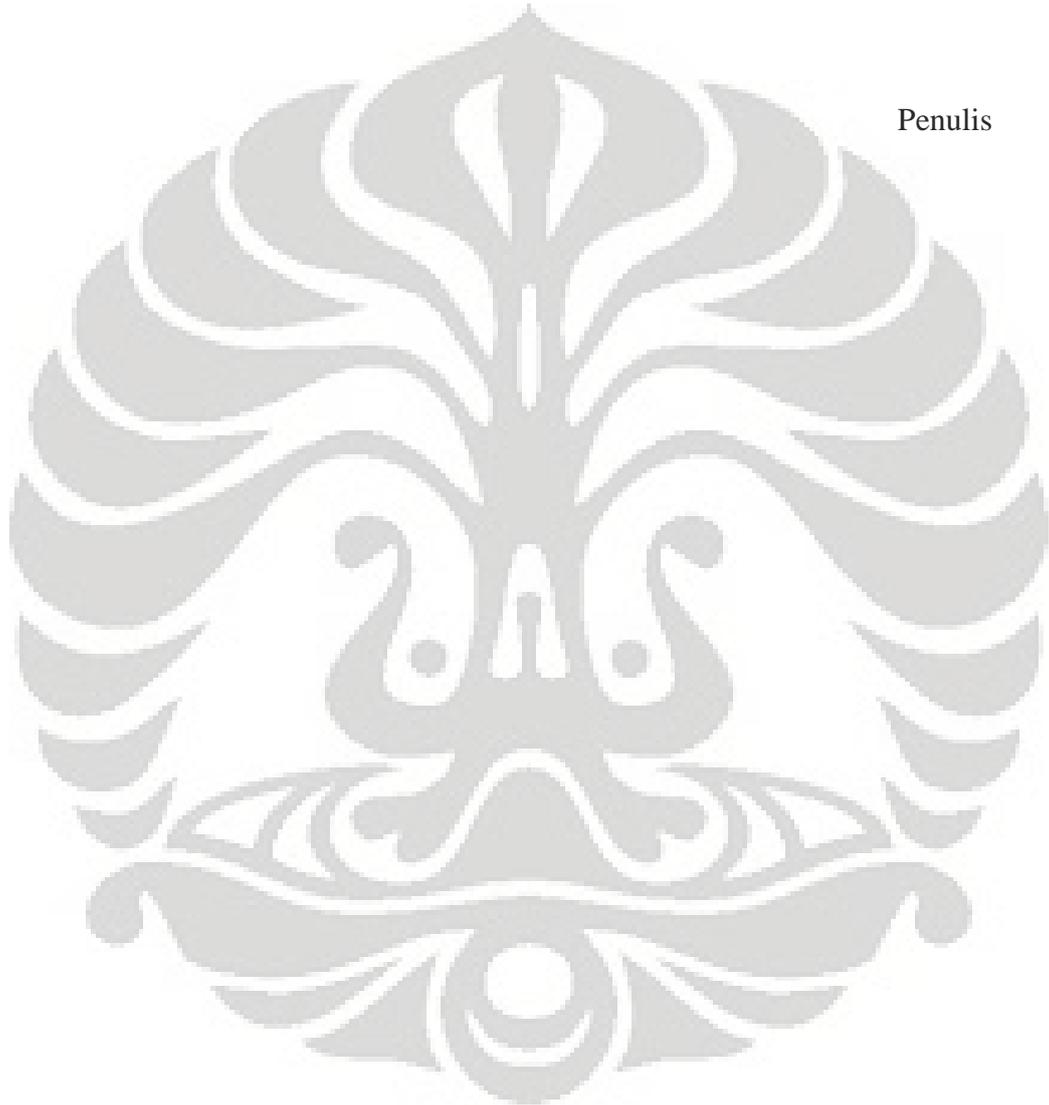
- (5) Mba Licka dan Diah yang dengan tulus hati dan sabar membantu saya menganalisis sampel-sampel air limbah di laboratorium. Rasa terima kasih juga saya ucapkan kepada Mas Puji, Mas Rosyid, serta rekan-rekan di Laboratorium Afiliasi Kimia MIPA UI, serta Mba Tika dari Mitralab Buana Lenteng Agung yang telah membantu saya menganalisis sampel air limbah;
  - (6) Epifani, Antonius, Deni, dan Yenti yang selalu hadir dalam keseharian saya menyusun skripsi di lantai IV Departemen Teknik Sipil UI, juga Ratna KD dan Wieke H yang telah meminjamkan contoh skripsinya dan menjawab pertanyaan-pertanyaan saya tentang penyusunan skripsi, serta seluruh rekan-rekan seperjuangan di Teknik Sipil & Lingkungan atas dukungan, kebersamaan, dan bantuannya yang telah diberikan selama ini. Saya merasa beruntung mempunyai rekan-rekan yang luar biasa;
  - (7) Mba Dian, Mba Fitri, dan Mba Ami, serta para staf dan pegawai di DTS lainnya yang secara langsung maupun tidak langsung berkontribusi bagi penyelesaian skripsi saya;
  - (8) Saudari-saudari pengajian saya di Blok C yang selalu memberikan semangat tersendiri dalam diri saya;
  - (9) Keluarga besar saya di Kost Uswatun Hasannah yang dengan ceria selalu mengisi keseharian saya menyusun skripsi di kost;
- Serta semua pihak lain yang saya tidak dapat sebutkan satu persatu yang sudah ikut membantu dalam penulisan skripsi ini.

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 di masa yang akan datang. Besar harapan saya skripsi ini dapat menjadi masukan yang membangun bagi perbaikan kinerja di IPLC/STP pada Gedung Manggala Wanabakti, sekaligus memberikan manfaat serta informasi bagi pembaca dan

pengembangan studi dan kajian pengelolaan limbah cair domestik terutama pada skala kecil perkantoran.

Depok, Desember 2010

Penulis



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

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ghandes Evana  
NPM : 0606078046  
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:

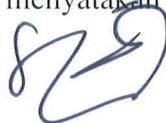
EVALUASI & RE-DESAIN INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH CAIR (IPLC)  
DOMESTIK STUDI KASUS IPLC GEDUNG MANGGALA WANABAKTI

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 : Desember 2010

Yang menyatakan



( Ghandes Evana )

## ABSTRAK

Nama : Ghandes Evana  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Judul : Evaluasi Dan Re-Desain Instalasi Pengolahan Limbah Cair (IPLC) Domestik, Studi Kasus IPLC Gedung Manggala Wanabakti

Gedung Perkantoran Manggala Wanabakti di Jakarta Pusat telah mengalami peningkatan jumlah populasi karyawan dan perubahan peruntukkan ruang, sehingga berdampak signifikan pada produksi limbah cair yang dihasilkan. Akibatnya, Instalasi Pengolahan Limbah Cair (IPLC) yang digunakan pada gedung tersebut mengalami peningkatan beban hidrolis & organik. Evaluasi ini dilakukan untuk mengetahui kinerja IPLC berkaitan dengan permasalahan-permasalahan yang terjadi di lapangan, untuk selanjutnya merekomendasikan re-desain bagi perbaikan IPLC tersebut. Hasil dari evaluasi adalah IPLC belum perlu diubah dimensinya hingga debit influent mencapai  $385 \text{ m}^3/\text{hari}$ . Akan tetapi, alat-alat vital yang tidak berfungsi pada unit-unit pengolahan sangat mempengaruhi proses pengolahan air limbah, sehingga perlu untuk dilakukan perbaikan. Parameter-parameter lain seperti kebutuhan udara aerasi, resirkulasi lumpur, dan pembuangan lumpur perlu dikontrol secara rutin nilai debitnya dan disesuaikan dengan kriteria desain yang ada untuk menjaga efektivitas proses pengolahan yang terjadi.

Kata kunci:  
evaluasi, re-desain, instalasi, air limbah domestik, gedung perkantoran

## ABSTRACT

Name : Ghandes Evana  
Study Programe : Environmental Engineering  
Title : Evaluation & Redesign of Domestic Sewage Treatment Plant (STP), Case Study STP at Manggala Wanabakti Office Building

Manggala Wanabakti Office Building in Central Jakarta has experienced an increase in the number of employees and changed in designated spaces, so it has a significant impact on the wastewater generated. As a result, Sewage Treatment Plant (STP) which is used in the building increased in hydraulic and organic load. The evaluation was conducted to evaluate the performance of STP related to the problems that occur in the field, to further recommend the redesign for the improvement of STP. The results of this evaluation is the STP doesn't need to be resized in dimension yet until the wastewater inflow reaches 385 m<sup>3</sup>/day. However, vital equipments which are not working properly and some have been broke down affects greatly on the wastewater treatment process, so it needs to be repaired. Other parameters such as aeration air demand, recycle sludge, and wasted sludge needs to be controlled on a regular basis and adjusted with the design criteria to maintain the effectiveness of treatment processes.

Keywords:

Evaluation, redesign, treatment plant, domestic wastewater, office building

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	vii
ABSTRAK .....	viii
ABSTRACT .....	ix
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR PERSAMAAN .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvi
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Batasan Penelitian .....	4
<b>2. LANDASAN TEORI .....</b>	<b>5</b>
2.1 Terminologi .....	5
2.1.1 Air Limbah Domestik Gedung Perkantoran .....	5
2.1.2 Pengelolaan Air Limbah Domestik Gedung Perkantoran .....	5
2.1.3 Pengolahan Air Limbah Domestik Gedung Perkantoran .....	6
2.2 Karakteristik Air Limbah Domestik .....	6
2.2.1 Karakteristik Fisik .....	6
2.2.2 Karakteristik Kimia .....	9
2.2.3 Karakteristik Biologi .....	16
2.3 Estimasi Kuantitas Air Limbah Domestik .....	19
2.4 Standar Baku Mutu .....	22
2.5 Pengolahan Air Limbah Domestik .....	24
2.5.1 Pra-Pengolahan (Preliminary Treatment) .....	25
2.5.2 Pengolahan Primer (Primary Treatment) .....	27
2.5.3 Pengolahan Sekunder (Secondary Treatment) .....	29
2.5.4 Pengolahan Tersier (Tertiary/Advanced Treatment) .....	31
2.6 Proses Pengolahan Lumpur Aktif .....	33
2.6.1 Variabel Operasional .....	35
2.7 Unit Desinfeksi (Klorinasi) .....	41
2.8 Kolam Stabilisasi Limbah ( <i>Stabilization Pond</i> ) .....	42
2.7.1 Tipe-Tipe Kolam Stabilisasi Limbah .....	43
<b>3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>48</b>
3.1 Kerangka Berpikir .....	49

3.2	Metode Pengolahan Data .....	50
<b>4.</b>	<b>GAMBARAN UMUM OBJEK STUDI .....</b>	<b>56</b>
4.1	Luasan Bangunan Gedung .....	59
4.2	Karakteristik Aktivitas & Nilai Penggunaan Ruang Di Dalam Gedung .....	65
4.3	Debit Timbulan Air Limbah .....	69
4.3.1	Perhitungan Berdasarkan Pemakaian Air Bersih .....	70
4.3.2	Perhitungan Berdasarkan Luasan Efektif Bangunan .....	73
4.3.3	Perhitungan Berdasarkan Pemakaian Alat-Alat Plambing .....	74
4.3.4	Perhitungan Langsung Pada Saluran Inlet STP .....	77
4.4	STP ( <i>Sewage Treatment Plant</i> ) .....	78
4.4.1	Unit Pra-Pengolahan .....	82
4.4.2	Unit Aerasi .....	84
4.4.3	Unit Sedimentasi .....	87
4.4.4	Unit Klorinasi & Bak Penampung .....	88
4.4.5	Mekanisme Pengembalian Lumpur & Pembuangan Lumpur .....	90
4.5	Danau .....	91
<b>5.</b>	<b>PEMBAHASAN .....</b>	<b>98</b>
5.1	Analisis Input Air Limbah .....	98
5.1.1	Analisis Debit Air Limbah .....	98
5.1.2	Analisis Karakteristik Air Limbah .....	100
5.2	Analisis Proses Pengolahan Air Limbah .....	102
5.2.1	Proses Pada Unit Aerasi .....	103
5.2.2	Proses Pada Unit Sedimentasi .....	111
5.2.3	Proses Pada Unit Klorinasi & Outlet Limbah .....	114
5.3	STP 2 .....	118
5.4	Analisis Output Limbah .....	121
<b>6.</b>	<b>PENUTUP .....</b>	<b>125</b>
6.1	Kesimpulan .....	125
6.1.1	Hasil Evaluasi Input Pengolahan Air Limbah .....	125
6.1.2	Hasil Evaluasi Proses Pengolahan Limbah .....	125
6.1.3	Hasil Evaluasi Output Pengolahan Air Limbah Di Danau .....	126
6.2	Saran .....	127
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>128</b>

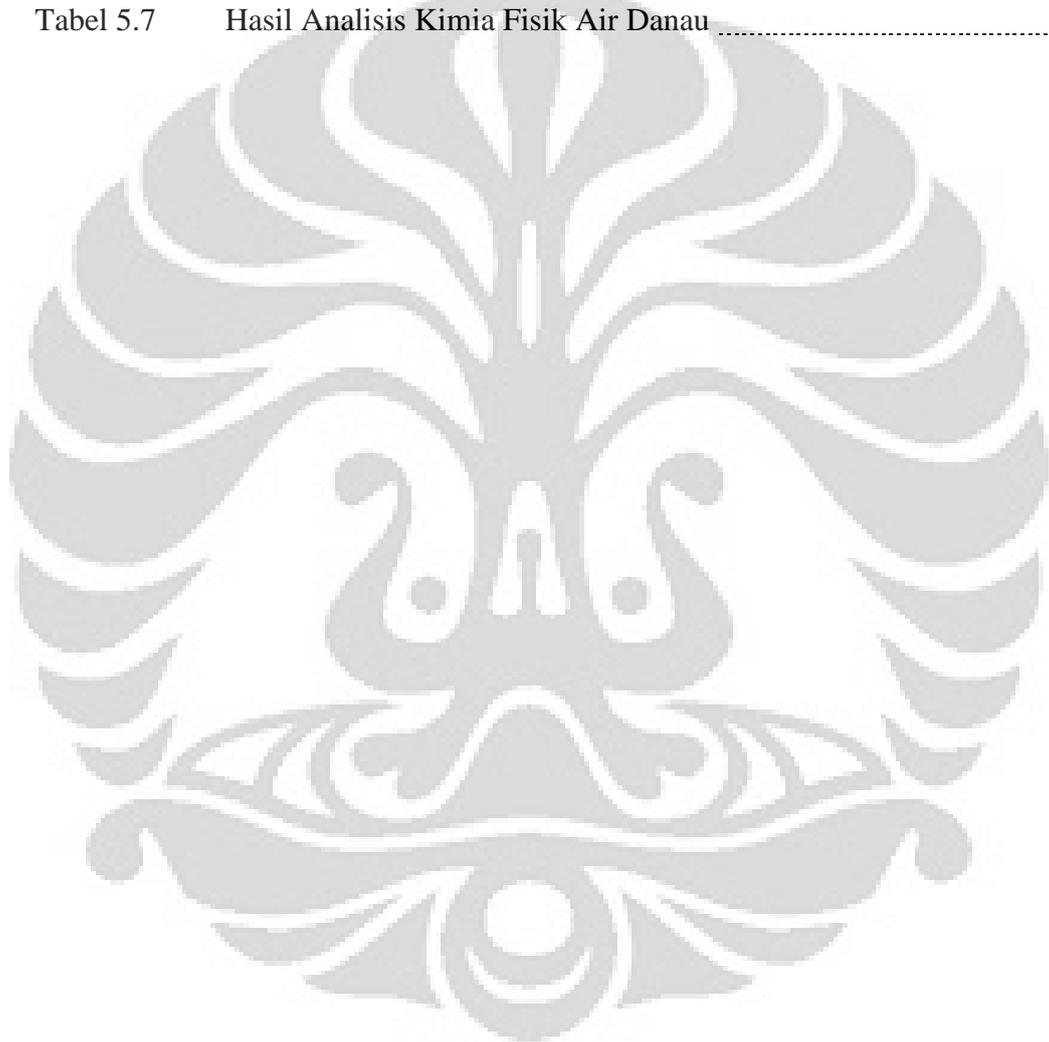
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Kolam Anaerobik .....	44
Gambar 2.2.	Kolam Fakultatif .....	46
Gambar 2.3.	Kolam Maturasi (Aerobik) .....	47
Gambar 2.4.	Laguna Fakultatif .....	47
Gambar 2.5.	Laguna Aerobik .....	47
Gambar 3.1.	Skema Kerangka Berpikir .....	50
Gambar 4.1.	Area Kompleks Gedung MPR/DPR & Gedung Perkantoran Manggala Wanabakti .....	56
Gambar 4.2.	Lokasi Gedung Manggala Wanabakti .....	57
Gambar 4.3	Ruang Museum & Perpustakaan .....	58
Gambar 4.4	Fasilitas Kolam Renang & Lapangan Tenis .....	58
Gambar 4.5	Fitness Center & Ruang Auditorium .....	58
Gambar 4.6	Gedung Perkantoran Blok I, Blok IV, Blok VII .....	59
Gambar 4.7	Denah Area Gedung Manggala Wanabakti .....	61
Gambar 4.8	Grease Trap Restoran Nelayan .....	68
Gambar 4.9	Pengukuran Debit Air Limbah Di Inlet STP 1 .....	78
Gambar 4.10	Skema Aliran Air Limbah Domestik Di Gedung Manggala Wanabakti .....	79
Gambar 4.11	Ruang STP 1 .....	80
Gambar 4.12	Diagram Alir STP 1 .....	81
Gambar 4.13	Unit Bar Screen .....	82
Gambar 4.14	<i>Grinder</i> .....	83
Gambar 4.15	<i>Rotary Lobe Positive Displacement Blower</i> .....	85
Gambar 4.16	Salah satu <i>lobe blower</i> yang sedang rusak .....	85
Gambar 4.17	Kondisi Bak Aerasi Saat Blower Beroperasi & Tidak Beroperasi .....	85
Gambar 4.18	Penumpukan Feces Pada Permukaan Bak Aerasi .....	86
Gambar 4.19	Lubang-Lubang <i>Overflow</i> Di Bak Aerasi .....	87
Gambar 4.20	Lumpur Yang Terapung Di Permukaan Bak Sedimentasi .....	88
Gambar 4.21	Bak Klorinasi Dengan <i>Baffle</i> .....	89
Gambar 4.22	Pompa Bak Penampung .....	90
Gambar 4.23	Danau Buatan Pada Area Kompleks Gedung Manggala Wanabakti .....	92
Gambar 4.24	Titik Inlet Danau Dari STP 1 .....	95
Gambar 4.25	Titik Inlet Danau Dari STP 2 .....	95
Gambar 4.26	Titik Outlet Danau .....	95
Gambar 4.27	Persebaran Titik-Titik Aerator & Titik Inlet & Outlet Di Danau .....	97
Gambar 5.1	Skema Perhitungan <i>Residence Time</i> Danau .....	121

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Senyawa-Senyawa Pencetus Bau .....	10
Tabel 2.2	Faktor-Faktor Dalam Karakterisasi Bau .....	10
Tabel 2.3	Rata-Rata Kebutuhan Air Bersih Perkantoran .....	20
Tabel 2.4	Kebutuhan Air Bersih Pada Beberapa Sumber Aktivitas .....	20
Tabel 2.5	Pemakaian Air & Frekuensi Penggunaan Per Jam Tiap Alat Plumbing .....	21
Tabel 2.6	Faktor Pemakaian (%) dan Jumlah Alat Plumbing .....	21
Tabel 2.7	Baku Mutu Limbah Cair Domestik (1) .....	22
Tabel 2.7	(sambungan) .....	23
Tabel 2.8	Baku Mutu Limbah Cair Domestik (2) .....	23
Tabel 2.9	Baku Mutu Air Sungai Golongan C Untuk Perikanan & Peternakan .....	24
Tabel 2.10	Desain Tipikal Bar Racks (1) .....	26
Tabel 2.11	Desain Tipikal Bar Racks (2) .....	26
Tabel 2.12	Konstituen Residu yang Umum Ditemukan Pada Effluent Air Limbah & Efeknya .....	32
Tabel 2.13	Kriteria Desain Proses Pengolahan Lumpur Aktif ( <i>Extended Aeration</i> ) .....	34
Tabel 4.1	Luas Area Pemeliharaan Gedung .....	60
Tabel 4.2	Luas Area Komersial Gedung .....	60
Tabel 4.3	Luas Ruangannya .....	60
Tabel 4.4	Luasan Efektif Ruang Kantor Gedung Blok I .....	62
Tabel 4.5	Luasan Efektif Ruang Kantor Gedung Blok IV .....	62
Tabel 4.6	Luasan Efektif Ruang Kantor Gedung Blok VII .....	62
Tabel 4.7	Luas Area Peruntukkan Gedung Blok II Lantai 1 (1) .....	63
Tabel 4.8	Luas Area Peruntukkan Gedung Blok II Lantai 1 (2) .....	63
Tabel 4.9	Luasan Area Peruntukkan Gedung Blok II Lantai 2 .....	63
Tabel 4.10	Luas Area Gedung Blok III Lantai 1 .....	64
Tabel 4.11	Luas Area Gedung Blok III Lantai 2 .....	64
Tabel 4.12	Luasan Area Gedung Blok V .....	64
Tabel 4.13	Luasan Area Gedung Blok VI .....	64
Tabel 4.14	Nilai Luas Penggunaan Ruang Kantor Gedung Manggala Wanabakti Tahun 2010 .....	67
Tabel 4.15.	Catatan Meteran PAM Di Blok V .....	72
Tabel 4.16.	Catatan Meteran PAM Blok VII .....	72
Tabel 4.17	Jumlah Populasi Manusia Pada Masing-Masing Blok Gedung .....	72
Tabel 4.18	Perhitungan Debit Air Limbah Dari Alat-Alat Plumbing .....	74
Tabel 4.19	Debit Air Limbah Setelah Dikali Faktor Pemakaian Serentak .....	75
Tabel 4.20	Alat-Alat Plumbing Di Gedung Blok I (15 lantai) .....	75
Tabel 4.21	Alat-Alat Plumbing Di Gedung Blok IV (9 lantai) .....	75
Tabel 4.22	Alat-Alat Plumbing Di Gedung Blok VI Lantai I .....	75
Tabel 4.23	Alat-Alat Plumbing Di Gedung Blok VI Lantai II .....	75
Tabel 4.24	Alat-Alat Plumbing Di Gedung Blok II & III Lantai I .....	76
Tabel 4.25	Alat-Alat Plumbing Di Gedung Blok II & III Lantai II .....	76

Tabel 4.26	Pengkuruan Debit Inlet Limbah STP 1 .....	77
Tabel 4.27	Standar Baku Mutu Air Danau & Hasil Pengujian Laboratorium BPLHD Terhadap Kualitas Air Limbah Di Danau (Mei 2010) .....	93
Tabel 5.1	Hasil Perhitungan Debit Produksi Air Limbah Tahun 2010 .....	98
Tabel 5.2	Analisis Parameter Inlet Limbah STP 1 .....	100
Tabel 5.3	Hasil Analisis TSS, BOD <sub>5</sub> , dan COD Pada Bak Aerasi .....	103
Tabel 5.4	Hasil Analisis Kimia Fisik Pada Outlet Bak Aerasi & Sedimentasi .....	111
Tabel 5.5	Hasil Analisis Air Limbah Di Outlet.....	118
Tabel 5.6	Hasil Analisis Air Limbah Di STP 2 .....	119
Tabel 5.7	Hasil Analisis Kimia Fisik Air Danau .....	123



## DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1	BOD Loading .....	35
Persamaan 2.2	BOD-MLSS Loading .....	35
Persamaan 2.3	F/M Ratio .....	36
Persamaan 2.4	Hydarulics Retention Time (HRT) .....	37
Persamaan 2.5	Umur Lumpur ( <i>Sludge Age</i> ) .....	37
Persamaan 2.6	<i>Sludge Volume Index</i> (SVI) .....	38
Persamaan 2.7	Massa & Volume Pembuangan Lumpur .....	39
Persamaan 2.8	Kebutuhan Oksigen Teori .....	39
Persamaan 2.9	<i>Standard Oxygen Requirement</i> (SOR) .....	39
Persamaan 2.10	Faktor koreksi kelarutan oksigen .....	39
Persamaan 2.11	Temperatur rata-rata air limbah di bak aerasi pada kondisi lapangan .....	39
Persamaan 2.12	Kebutuhan udara (menggunakan nilai SOR) .....	40
Persamaan 2.13	Kebutuhan oksigen aerasi .....	40
Persamaan 2.14	Kebutuhan udara (menggunakan nilai umur lumpur) .....	41
Persamaan 2.15	Nilai pengembalian lumpur .....	41

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Nilai Luas Penggunaan Ruang (NLPR) .....	131
Lampiran 2	Jumlah Populasi Pegawai .....	132
Lampiran 3	Nilai Debit Influent STP 1 & 2 .....	133
Lampiran 4	Prosedur Analisis Fisik-Kimia Sample Air Limbah .....	134
Lampiran 5	Prosedur Pengawetan Sample Air Limbah .....	146

Gambar 1	Denah Potongan Dan Flow Diagram STP
Gambar 2	Detail Penempatan Grinder Dan Bak Pembagi Air
Gambar 3	Denah Pembuangan Air Sewage Treatment Plant
Gambar 4	Oil & Grease Trap Restoran Nelayan
Gambar 5	Denah Lantai 1 Dan Gugusan Massa
Gambar 6	System Pembuangan Air Kotor
Gambar 7	Denah & Potongan Bak Penampung



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Saat ini kondisi lingkungan di Jakarta berada dalam keadaan kritis akibat pencemaran dan kerusakan lingkungan hidup. Aktivitas perkantoran, pemukiman, perindustrian dan aktivitas domestik masyarakat lainnya yang tidak ramah lingkungan telah menyebabkan tercemarnya lingkungan hidup Jakarta. Data dari Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah (BPLHD) Provinsi DKI Jakarta pada tahun 2006 menunjukkan terdapat 78% sungai yang sudah tergolong tercemar berat (Ririn Sjafriani, Republika Online, 2010).

Gedung-gedung di Jakarta yang dibangun dan dikelola dengan tidak ramah lingkungan, menjadi salah satu permasalahan yang menyebabkan terjadinya pencemaran dan kerusakan lingkungan hidup di Jakarta. Pembangunan gedung yang tidak sesuai tata guna lahan/tata ruang telah menggeser kawasan hijau sebagai paru-paru kota, serta berbagai macam dampak lainnya, seperti kemacetan, pencemaran udara, air, dsb. Pengelolaan gedung yang tidak memiliki Instalasi Pengolahan Limbah Cair (IPLC) sesuai persyaratan juga telah ikut berperan dalam pencemaran dan kerusakan lingkungan di Jakarta, terutama pencemaran air. Laporan BPLHD menyebutkan, pada tahun 2008 terdapat 263 gedung di Jakarta Selatan, dan dari 226 gedung yang telah diperiksa oleh BPLHD, baru 131 gedung bertingkat meliputi meliputi hotel, pusat perbelanjaan, dan gedung perkantoran dinyatakan telah memenuhi persyaratan Instalasi Pengolahan Limbah Cair (IPLC) (Dunih, BeritaJakarta.Com, 2008).

Salah satu aktivitas domestik dalam gedung yang perlu mendapat perhatian dalam rangka perlindungan terhadap lingkungan hidup ialah pengelolaan limbah cair, baik berupa *grey water* (air bekas) ataupun *black water* (air kotor/tinja). Meskipun secara normatif Pemerintah telah membuat aturan tentang pengelolaan limbah, antara lain melalui PP No. 20 Tahun 1990 mengenai Pengendalian Pencemaran Air dan Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta No. 122 Tahun 2005 Tentang Pengelolaan Air Limbah Domestik Di Provinsi DKI Jakarta, namun pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah cair masih menjadi

persoalan serius di Jakarta. Tidak terpenuhinya persyaratan IPLC pada gedung-gedung di Jakarta menjadi catatan tersendiri pada pengelolaan limbah cair dari sumber aktivitas yang dilakukan, sehingga telah mempengaruhi kualitas air limbah hasil olahan yang dibuang.

Gedung Perkantoran Manggala Wanabakti (Kementerian Kehutanan) yang berlokasi di Jakarta Pusat merupakan salah satu gedung yang dapat menjadi contoh yang menarik dalam pengelolaan limbah cair. Mengusung slogan “Hunian Perkantoran Berwawasan Lingkungan”, gedung yang secara resmi dioperasikan sejak 1983 ini memiliki lansekap arsitektur dan taman hutan kota yang memberikan keserasian bagi lingkungan. Manggala Wanabakti juga memiliki pengelolaan limbah cair domestik tersendiri dalam sebuah IPLC yang digunakan untuk mengolah limbah cair yang dihasilkan dari aktivitas domestik dari gedung tersebut. Pengelolaan limbah cair di gedung tersebut menggunakan proses lumpur aktif dan yang menarik ialah air limbah ini selanjutnya dialirkan menuju danau buatan untuk dipurifikasi secara alami.

Sejalan dengan berjalannya waktu selama 27 tahun sejak dioperasikan, Gedung Manggala Wanabakti telah mengalami peningkatan jumlah populasi pengguna dan perubahan pada tata guna ruang. Perubahan-perubahan tersebut telah berdampak signifikan pada produksi limbah cair yang dihasilkan, sehingga berpengaruh pada peningkatan beban hidrolis, perubahan karakteristik limbah, dan terjadinya pengendapan pada kolam maturasi. Akibatnya, IPLC yang digunakan pada gedung tersebut mengalami peningkatan beban proses pengolahan, sehingga mengurangi kinerja IPLC/STP. Alat pendukung vital proses pengolahan limbah cair di IPLC yang sudah rusak dan kurangnya aspek manajemen operasional & *maintenance* IPLC menjadi faktor lain yang telah berdampak pada kinerja serta kualitas hasil olahan limbah cair IPLC.

Sehubungan dengan permasalahan tersebut, perlu dilakukan evaluasi terhadap pengolahan limbah cair di Gedung Manggala Wanabakti untuk mengetahui lebih jauh efektifitas pengolahan limbah cair yang dihasilkan, mulai dari STP hingga danau. Evaluasi juga dilakukan terhadap karakteristik limbah yang masuk ke IPLC untuk mengetahui kandungan parameter-parameter kimia dan fisik limbah cair domestik. Hasil evaluasi yang dilakukan kemudian

digunakan untuk melakukan re-desain sebagai rekomendasi perbaikan atas kondisi di lapangan yang tidak ideal. Oleh karena itu, penelitian ini mengambil judul “Evaluasi dan Re-Desain Instalasi Pengolahan Limbah Cair (IPLC) Domestik Studi Kasus IPLC Pada Gedung Manggala Wanabakti”.

## 1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian, sebagai berikut:

- Bagaimana karakteristik limbah cair yang dihasilkan pada Gedung Manggala Wanabakti, baik secara kuantitas maupun kualitasnya?
- Bagaimana kinerja masing-masing unit IPLC yang diterapkan dan pengaruhnya terhadap sistem pengolahan limbah cair secara keseluruhan?
- Apa parameter yang digunakan untuk menganalisis kualitas limbah cair yang dihasilkan pada Gedung Manggala Wanabakti?
- Apa standar hukum yang relevan bagi pengelolaan kualitas limbah cair yang dihasilkan pada Gedung Manggala Wanabakti?
- Bagaimana pengembangan desain dan operasional yang dapat diterapkan pada IPLC Gedung Manggala Wanabakti?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Terdapat 2 (dua) tujuan dari penelitian yang dilakukan, antara lain:

- a. Tujuan Umum
  - Mengembangkan studi dan kajian pada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Indonesia mengenai solusi pengelolaan limbah cair domestik, khususnya pada skala gedung perkantoran.
- b. Tujuan Khusus
  - Mengevaluasi sistem instalasi pengolahan limbah cair domestik di Gedung Perkantoran Manggala Wanabakti.
  - Memberikan solusi bagi optimalisasi dan efektifitas kinerja sistem pengolahan limbah cair di Gedung Perkantoran Manggala Wanabakti melalui desain pengembangan teknis instalasi dan ide ilmiah lainnya yang relevan.

- Merencanakan langkah-langkah operasional yang relevan bagi efektifitas kinerja teknis instalasi pengolahan limbah cair

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Berikut ini adalah manfaat yang didapat dari penelitian yang akan dilakukan:

- Identifikasi kondisi pengolahan limbah cair di Gedung Manggala Wanabakti saat ini
- Pengukuran efektifitas pengolahan limbah cair dengan diterapkannya pengembangan instalasi yang diusulkan
- Memberikan saran kepada pengelola gedung dalam mengambil kebijakan mengenai rencana pengelolaan limbah cair domestik yang dihasilkan pada Gedung Manggala Wanabakti

#### 1.5 Batasan Penelitian

Berikut ini adalah batasan penelitian yang akan dilakukan:

- Penelitian dilakukan berdasarkan studi evaluasi *Sewage Treatment Plant* (STP) atau Instalasi Pengolahan Limbah Cair (IPLC) pada Gedung Manggala Wanabakti
- Evaluasi akan dilakukan pada masing-masing unit pengolahan yang diterapkan, baik pada desain maupun analisis kuantitas dan kualitas limbah masuk dan keluar pada masing-masing unitnya
- Pengembangan desain instalasi dapat berupa desain ulang (*re-design*) unit pengolahan yang sudah ada dan/atau penambahan unit instalasi pengolahan yang baru, disesuaikan dengan pertimbangan dari hasil evaluasi awal

## **BAB 2**

### **LANDASAN TEORI**

Dalam melakukan evaluasi dan re-desain terhadap instalasi pengolahan limbah cair, pengetahuan yang dibutuhkan antara lain meliputi kuantitas & kualitas air limbah input (influent), yaitu sebelum dilakukan pengolahan, serta kualitas yang harus dicapai dari air limbah tersebut di hilirnya (effluent). Kuantitas atau debit air limbah akan menentukan ukuran dari 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 limbah cair.

#### **2.1 Terminologi**

##### **2.1.1 Air Limbah Domestik Gedung Perkantoran**

Menurut Reynolds (1995), air limbah domestik atau dapat pula disebut sebagai *sanitary sewage* atau *domestic wastewater* merupakan cairan limbah yang berasal dari fasilitas sanitasi pada suatu bangunan. Sedangkan, berdasarkan Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta No. 122 Tahun 2005 (Pergub DKI 122/2005) tentang Pengelolaan Air Limbah Domestik Di Provinsi DKI Jakarta, air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari kegiatan rumah tangga, perumahan, rumah susun, apartemen, perkantoran, rumah dan kantor rumah dan toko, rumah sakit, mall, pasar swalayan, balai pertemuan, hotel, industri, sekolah, baik berupa *grey water* (air bekas) ataupun *black water* (air kotor/tinja).

##### **2.1.2 Pengelolaan Air Limbah Domestik Gedung Perkantoran**

Berdasarkan Pergub 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.

### 2.1.3 Pengolahan Air Limbah Domestik Gedung Perkantoran

Berdasarkan Pergub DKI 122/2005, pengolahan air limbah domestik adalah upaya mengolah dengan cara tertentu agar air limbah dari aktivitas di gedung perkantoran memenuhi baku mutu air limbah yang ditetapkan. Baku mutu limbah cair kegiatan perkantoran adalah batas kadar dan jumlah unsur pencemar yang ditenggang adanya dalam limbah cair untuk dibuang dari satu jenis kegiatan perkantoran.

## 2.2 Karakteristik Air Limbah Domestik

### 2.2.1 Karakteristik Fisik

Karakteristik fisik yang paling penting dari air limbah adalah komponen padatan total (*total solids content*) yang antara lain terdiri atas materi mengapung (*floating matter*), materi mengendap (*settleable matter*), dan materi dalam larutan air limbah (*matter in solution*). Karakteristik fisik penting lainnya adalah turbiditas, warna, temperatur, kepadatan (*density*), *specific gravity*, dan *specific weight*.

Air limbah mengandung berbagai macam materi padatan, mulai dari partikel diskrit hingga koloid. Secara umum kandungan padatan dalam air limbah dapat digolongkan menjadi padatan tersuspensi dan terlarut (*suspended & dissolved solids*). Dalam menganalisis kandungan padatan, material-material kasar (*coarse materials*) atau partikel diskrit harus disisihkan terlebih dahulu. Hasil dari analisis kandungan padatan dinyatakan dalam miligram per liter atau dalam persen (1% setara dengan 1 gram padatan per 100 gram air limbah). Berikut ini adalah penjelasan mengenai kandungan padatan selengkapnya:

- a. Total padatan (*Total Solids – TS*) merupakan gabungan antara padatan tersuspensi dan terlarut yang diukur dari residu yang tersisa dari sampel air limbah yang telah mengalami evaporasi dan pengeringan pada temperatur tertentu (103–105°C) (Metcalf & Eddy, 2004, p. 43).
- b. Total padatan tersuspensi (*Total Suspended Solids – TSS*) merupakan porsi TS yang tersisa dalam filter dengan ukuran pori yang telah terspesifikasi atau telah

ditentukan sebelumnya, dan diukur setelah dilakukan pengeringan pada temperatur tertentu ( $105^{\circ}\text{C}$ ). Filter dengan berbagai macam ukuran pori yang biasa digunakan dalam pengukuran TSS bervariasi antara  $0,45\text{--}2,0\ \mu\text{m}$  (Metcalf & Eddy, 2004, p. 43). Jenis bahan filter yang umum digunakan untuk penentuan TSS adalah filter *Whatman glass fiber* dengan ukuran pori  $1,58\ \mu\text{m}$ . Nilai TSS secara rutin digunakan untuk menilai performa dari proses pengolahan air limbah dan kebutuhan untuk dilakukannya filtrasi pada efluent dalam aplikasi penggunaan kembali (*reuse*) air limbah. TSS juga merupakan 1 dari 2 standar (selain BOD) yang secara umum digunakan untuk menentukan performa instalasi pengolahan untuk tujuan pengontrolan secara regulasi/peraturan.

- c. Total padatan terlarut (*Total Dissolved Solids* – TDS) merupakan padatan yang terkandung dalam filtrat yang melewati filter dengan ukuran nominal pori  $2,0\ \mu\text{m}$  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  $0,001\text{--}1,0\ \mu\text{m}$  atau  $0.003\text{--}1,0\ \mu\text{m}$  (Metcalf & Eddy, 2004, p. 44–45).
- d. *Volatile & Fixed Solids* – Materi yang dapat ter volatilisasi dan terbakar (*burned off*) pada suhu  $500 \pm 50^{\circ}\text{C}$  diklasifikasikan bersifat *volatile* (Metcalf & Eddy, 2004, p. 45). 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 & volatile solids*. Rasio VS terhadap FS biasanya digunakan untuk melihat karakteristik air limbah dalam hubungannya dengan nilai kandungan materi organik (Metcalf & Eddy, 2004, p. 45).

Karakteristik fisik selanjutnya adalah turbiditas atau kekeruhan. Turbiditas merupakan pengukuran properti transmisi cahaya dalam air limbah yang

digunakan untuk mengindikasikan kualitas air limbah yang dihasilkan, yang berhubungan dengan kandungan materi koloid dan residu tersuspensi. Selanjutnya, kondisi air limbah yang dipengaruhi oleh komposisi dan konsentrasi, serta umur dari air limbah dapat diketahui secara kualitatif melalui warna dan bau. Pada saat *travel time* dalam sistem pengumpulan meningkat, dan lebih banyak kondisi anaerob terjadi, warna dari air limbah berubah secara bertahap dari abu-abu menjadi abu-abu yang lebih gelap, dan pada akhirnya menjadi hitam.

Karakteristik fisik lainnya ialah 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 parameter yang penting karena efeknya terhadap reaksi kimia dan tingkat reaksi (*reaction rate*), kehidupan air, dan kelayakan dari air tersebut untuk digunakan pada pemanfaatan lainnya. Oksigen akan kurang terlarut dalam air yang hangat daripada air yang dingin. Meningkatnya reaksi biokimia yang sejalan dengan meningkatnya temperatur, ditambah dengan terjadinya penurunan kuantitas oksigen pada air permukaan, dapat menyebabkan penurunan konsentrasi *dissolved oxygen* (DO), terutama pada saat musim panas terjadi. Bila terdapat air dalam kondisi hangat yang dilepas ke badan air penerima, maka efek tersebut (penurunan DO) akan meningkat. Perubahan temperatur yang mendadak dalam badan air juga dapat meningkatkan nilai mortalitas (kematian) kehidupan air yang berada di dalamnya. 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, p. 55).

Kepadatan atau densitas air limbah ( $\rho_w$ ) merupakan perbandingan massa per unit volume air limbah, biasa dinyatakan sebagai g/L atau kg/m<sup>3</sup> dalam satuan internasional (SI). Densitas air limbah domestik yang tidak mengandung kandungan limbah industri yang signifikan akan sama dengan densitas air pada kondisi temperatur yang sama (Metcalf & Eddy, 2004, p. 56). Densitas dan *specific gravity* air limbah merupakan parameter yang bergantung pada temperatur dan akan bervariasi pula dengan konsentrasi total padatan dalam air limbah.

## 2.2.2 Karakteristik Kimia

Karakteristik kimia air limbah terdiri atas konstituen anorganik dan organik. Karakteristik limbah cair yang termasuk dalam konstituen kimia anorganik antara lain ialah *nutrien*, konstituen non-logam, logam, dan gas. Selanjutnya, yang termasuk dalam konstituen kimia organik antara lain adalah agregat dan individual. Konstituen organik agregat dan individu keduanya memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pengolahan, pembuangan (*disposal*), dan penggunaan kembali (*reuse*) dari air limbah.

### 2.2.2.1 Konstituen Kimia Anorganik

Berikut ini adalah karakteristik kimia untuk konstituen kimia anorganik:

#### a. Konstituen Non-Logam Anorganik

Dissolved Oxygen (DO) – DO dibutuhkan dalam proses respirasi mikroorganisme aerob dan bentuk kehidupan aerobik lainnya. Bila terjadi peningkatan reaksi biokimia 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 odors*.

Bau (Odors) – 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 adanya kandungan sulfida yang dihasilkan oleh mikroorganisme anaerob yang mereduksi sulfat menjadi sulfida. Pengontrolan bau pada instalasi air limbah menjadi pertimbangan yang penting untuk dilakukan pada saat desain dan operasi karena berhubungan dengan penerimaan instalasi terhadap lingkungan sekitar. Efek bau pada level yang rendah bagi manusia cenderung kepada efek secara psikologis (misal rasa

stres), dibandingkan dengan efek yang dapat membahayakan kondisi metabolisme tubuh secara umum.

Tabel 2.1. Senyawa-Senyawa Pencetus Bau

Senyawa Pencetus Bau	Rumus Molekul	Senyawa Pencetus Bau	Rumus Molekul
Amina	$\text{CH}_3\text{NH}_2, (\text{CH}_3)_3\text{NH}$	Amonia	$\text{NH}_3$
Diamina	$\text{NH}_2(\text{CH}_2)_4\text{NH}_2$	Hidrogen Sulfida	$\text{H}_2\text{S}$
<i>Mercaptans</i> (metil & etil)	$\text{CH}_3\text{SH},$ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{SH}$	<i>Mercaptans</i> (butil & crotil)	$(\text{CH}_3)_3\text{CSH},$ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{SH}$
Sulfida organik	$(\text{CH}_3)_2\text{S},$ $(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{S}$	<i>Skatole</i>	$\text{C}_9\text{H}_9\text{N}$
Klorin	$\text{Cl}_2$	<i>Crotyl mercaptan</i>	$\text{C}_2\text{H}_4=(\text{C}_2\text{H}_3)\text{SH}$
Dimetil sulfida	$\text{CH}_3-\text{S}-\text{CH}_3$	Difenil sulfida	$(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{S}$
Etil mercaptan	$\text{CH}_3\text{CH}_2-\text{SH}$	<i>Indole</i>	$\text{C}_8\text{H}_6\text{NH}$
Metil amina	$\text{CH}_3\text{NH}_2$	Metil mercaptan	$\text{CH}_3\text{SH}$
Sulfur dioksida	$\text{SO}_2$	<i>Thiocresol</i>	$\text{CH}_3-\text{C}_6\text{H}_4-\text{SH}$

Sumber: Metcalf & Eddy, 2004

Tabel 2.2. Faktor-Faktor Dalam Karakterisasi Bau

Faktor	Deskripsi
Karakter	Berhubungan dengan asosiasi mental yang dilakukan oleh subjek yang melakukan penginderaan terhadap bau. Pengukuran faktor ini cukup bersifat subjektif
Potensi Deteksi	Tingkat pengenceran ( <i>dillution</i> ) yang dibutuhkan untuk mereduksi bau kepada tingkat <i>minimum detectable threshold odor concentration</i> (MDTOC)
Hedoniks	Relativitas keberterimaan atau ketidakberterimaan bau yang diindera oleh subjek
Intensitas	Tingkat kekuatan bau. Biasa diukur menggunakan <i>butanol alfactometer</i> atau dihitung dari D/T ( <i>dillution to threshold ratio</i> ) saat hubungan antara keduanya telah tercapai

Sumber: Metcalf & Eddy, 2004

pH (Tingkat Keasaman) – Konsentrasi ion hidrogen merupakan salah satu parameter yang penting bagi 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 ion hidrogen yang ekstrim akan sulit untuk dilakukan pengolahan secara biologis, dan jika konsentrasi tersebut tidak diubah sebelum dilakukan pembuangan (*discharge*), maka efluent air limbah dapat mengubah tingkat keasaman dalam badan air penerima. Tingkat keasaman yang diizinkan bagi efluent air limbah yang telah diolah untuk dibuang ke badan air penerima ialah bervariasi antara 6.5–8.5.

Metana – Gas metana ( $\text{CH}_4$ ) merupakan hasil sampingan utama dari dekomposisi anaerobik materi organik dalam air limbah. Pada instalasi pengolahan, metana diproduksi dari proses pengolahan anaerobik yang digunakan untuk menstabilisasi lumpur dari air limbah. Disebabkan gas metana merupakan bahan yang mudah terbakar dan memiliki tingkat ledakan yang tinggi, maka penting untuk disediakan *access port (man holes)* atau sistem ventilasi yang memadai seperti blower, dan alat ventilasi lainnya. Selanjutnya pada lokasi-lokasi yang berpotensi terjadi produksi gas metana di instalasi pengolahan harus diberikan peringatan akan terjadinya ledakan, dan para pekerja harus diinstruksikan untuk menggunakan alat pelindung diri dan pengamanan yang cukup.

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, p. 59). Alkalinitas dalam air limbah dapat membantu menahan perubahan pH yang terjadi akibat penambahan asam. Pada kondisi normal, air limbah umumnya bersifat alkaline yang menerima sifat alkalinitasnya dari suplai air bersih, air tanah, dan material-material lain yang masuk/ditambahkan sepanjang air digunakan untuk keperluan domestik. Konsentrasi alkalinitas

air limbah penting untuk diketahui pada beberapa hal, antara lain ialah pada saat pengolahan kimiawi dan biologi digunakan, dalam *biological removal*, dan pada proses pengurangan amonia menggunakan *air stripping*.

#### b. *Nutrien*

Elemen-elemen nitrogen dan fosfor yang esensial bagi perkembangan mikroorganisme, tumbuhan, dan binatang, umum disebut sebagai *nutrien* atau *biostimulant*. Disebabkan nitrogen merupakan senyawa yang penting dalam sintesis protein, maka data kandungan nitrogen akan diperlukan untuk mengevaluasi kelayakan air limbah untuk diolah melalui proses biologis. Kurangnya kadar nitrogen dalam air limbah dapat ditanggulangi dengan melakukan penambahan bahan-bahan nitrogen, sehingga air limbah dapat diolah (*treatable*). Pada beberapa kasus saat jumlah alga penting untuk dikontrol keberadaannya pada badan air penerima, maka penyisihan dan reduksi nitrogen dalam air limbah dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Sumber utama dari senyawa nitrogen antara lain ialah: (1) senyawa nitrogen yang berasal dari tumbuhan dan binatang, (2) sodium nitrat, dan (3) nitrogen yang berada di atmosfer. Bentuk yang paling umum dan penting dari nitrogen dalam air limbah antara lain ialah amonia ( $\text{NH}_3$ ), amonium ( $\text{NH}_4^+$ ), gas nitrogen ( $\text{N}_2$ ), ion nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ), dan ion nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) (Metcalf & Eddy, 2004, p. 60). Salah satu parameter nitrogen ialah nitrogen total yang tersusun atas nitrogen organik, amonia, nitrit, dan nitrat. Fraksi organik nitrogen tersusun atas campuran kompleks senyawa-senyawa yang termasuk didalamnya ialah asam-asam amino, gula-gula amino (*amino sugars*), dan protein (polimer dari asam amino). Senyawa-senyawa yang termasuk dalam fraksi organik nitrogen dapat terlarut dalam air (*soluble*) ataupun berbentuk partikulat. Bentuk senyawa-senyawa nitrogen tersebut sudah terlebih dahulu dikonversi menjadi amonium melalui aktivitas metabolisme mikroorganisme di lingkungan perairan atau tanah.

Selain nitrogen, fosfor juga merupakan unsur *nutrien* yang penting bagi pertumbuhan alga dan organisme biologi lainnya. Terjadinya ledakan

pertumbuhan alga beracun (*noxious algal bloom*) yang terdapat pada air permukaan dapat ditanggulangi melalui pengontrolan kandungan senyawa fosfor yang masuk ke badan air penerima atau air permukaan tersebut, baik melalui air limbah domestik, industri, maupun limpasan air hujan. Bentuk umum dari fosfor yang ditemukan dalam larutan air antara lain ialah orthofosfat, polyfosfat, dan organik fosfat. Orthofosfat, sebagai contohnya antara lain ialah  $PO_4^{3-}$ ,  $HPO_4^{2-}$ ,  $H_2PO_4^-$ ,  $H_3PO_4$ , dapat ditemukan pada metabolisme biologis. Polyfosfat termasuk di dalamnya adalah molekul-molekul dengan 2 atau lebih atom fosfor, atom oksigen, dan pada beberapa kasus adalah kombinasi atom hidrogen dalam molekul kompleks. Polyfosfat akan mengalami hidrolisis dalam larutan air dan berubah menjadi bentuk orthofosfat, walaupun reaksi hidrolisis tersebut berlangsung lambat. Ikatan fosfor organik umumnya kurang penting untuk dianalisis pada limbah cair domestik, tetapi akan menjadi konstituen yang penting pada limbah cair industri dan lumpur (*sludge*) air limbah.

#### c. Gas

Gas-gas yang umumnya ditemukan dalam air limbah antara lain ialah nitrogen ( $N_2$ ), Oksigen ( $O_2$ ), karbondioksida ( $CO_2$ ), hidrogen sulfida ( $H_2S$ ), amonia ( $NH_3$ ), dan metana ( $CH_4$ ). Gas-gas  $N_2$ ,  $O_2$ , dan  $CO_2$  umum terdapat di atmosfer dan akan ditemukan keberadaannya pada seluruh air yang terekspose oleh udara secara langsung. Sedangkan gas-gas  $H_2S$ ,  $NH_3$ , dan  $CH_4$  dihasilkan dari dekomposisi materi organik yang terdapat dalam air limbah.

#### d. Logam

Seluruh organisme bernyawa membutuhkan elemen logam baik dalam bentuk makro maupun mikro agar metabolisme dalam tubuhnya berjalan dengan baik. Logam-logam yang umum dibutuhkan dalam perkembangan organisme antara lain ialah besi, kromium, tembaga, seng, dan kobalt. Walaupun kandungan mikro maupun makro dari berbagai logam-logam dibutuhkan dalam perkembangan organisme, dalam konsentrasi yang tinggi sifat logam tersebut akan menjadi racun dan justru membahayakan bagi perkembangan hidup

organisme. Beberapa aplikasi pemanfaatan kembali air limbah yang banyak digunakan dalam irigasi dan penyiraman diperlukan penilaian atau evaluasi atas kualitas logam dalam air limbah yang di-*reuse* tersebut untuk mencegah terjadinya efek balik yang tidak diinginkan terutama terhadap kesehatan.

#### 2.2.2.2 Konstituen Kimia Organik

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, p. 80). Urea, yang merupakan konstituen utama dari urin, merupakan senyawa organik lain yang juga terdapat dalam air limbah yang belum diolah (*fresh* atau *untreated wastewater*). Secara umum, analisis untuk kandungan organik air limbah dapat diklasifikasi menjadi 2 macam, yaitu: (1) analisis melalui pengukuran materi organik agregat yang terdiri atas beberapa konstituen organik dengan karakteristik sama yang tidak dapat dipisahkan, dan (2) analisis melalui kuantifikasi senyawa organik individu. Berikut ini adalah karakteristik kimia untuk konstituen kimia organik, sebagai berikut:

##### a. Konstituen organik agregat

Biochemical Oxygen Demand (BOD) – 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. Kadar BOD air limbah dibutuhkan untuk menentukan ukuran instalasi pengolahan air limbah yang diperlukan, mengukur efisiensi proses pengolahan dalam suatu instalasi, dan untuk menyesuaikan kualitas air limbah efluent yang dibuang (*discharged*) ke badan air penerima dengan peraturan baku mutu yang ditetapkan (Metcalf & Eddy, 2004, p. 81). Terdapat beberapa keterbatasan dari pengukuran BOD diantaranya ialah: dibutuhkan pra-pengolahan sebelum

analisis BOD pada sampel air limbah dilakukan bila terdapat limbah toksik, efek-efek yang ditimbulkan dari organisme pencetus reaksi nitrifikasi harus direduksi, dan hanya materi-materi organik yang *biodegradeable* saja yang terukur dalam analisis BOD.

Chemical Oxygen Demand (COD) – 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 *biodegradeable*. Berikut ini adalah beberapa alasan 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, p. 94)

Total Organic Carbon (TOC) – merupakan analisis kimiawi yang dilakukan untuk menentukan kandungan karbon total dalam sampel air. Nilai TOC air limbah dapat digunakan sebagai pengukuran karakteristik polusi, dan dalam beberapa hal juga digunakan untuk membandingkannya dengan nilai BOD atau COD.

Minyak & lemak – Dalam air limbah kandungan minyak & lemak harus disisihkan karena bila tidak akan mengganggu kehidupan biologi atau ekosistem air pada badan air penerima tempat dimana efluent air limbah dibuang. Minyak & lemak akan membentuk lapisan pada permukaan air sehingga akan mengurangi intensitas cahaya masuk ke dalam air. Ketebalan

minyak dan lemak sehingga mampu membentuk lapisan/film pada permukaan air ialah sekitar 0,0003048 mm (Metcalf & Eddy, 2004, p. 98). Minyak & lemak yang terkandung dalam air limbah domestik bersumber dari penggunaan margarin, *butter*, krim, minyak dan lemak nabati atau hewani. Lemak juga ditemukan dalam daging, sereal, biji-bijian, kacang-kacangan, dan beberapa jenis buah dari sisa-sisa makanan. Rendahnya tingkat kelarutan minyak dan lemak dalam air mengurangi tingkat degradasinya secara mikrobiologi (melalui metabolisme bakteri).

b. Senyawa organik individu

Senyawa organik individu dilakukan untuk menganalisis keberadaan kandungan polutan prioritas (*priority pollutants*) serta beberapa senyawa baru & penting lainnya. Polutan prioritas (baik dalam bentuk anorganik maupun organik) merupakan senyawa-senyawa yang memiliki sifat karsinogen, mutagenesis, teratogenesis, atau toksisitas akut tingkat tinggi. Senyawa-senyawa organik yang termasuk dalam senyawa individu antara lain ialah: (1) VOCs (*volatile organic compounds*), (2) produk sampingan desinfeksi (*disinfection byproducts*); contoh: *trihalometanes* (THMs), (3) pestisida & bahan kimia yang digunakan dalam pertanian, dan (4) senyawa organik baru penting lain; contohnya ialah antibiotik, obat-obatan, limbah dari produk-produk rumah tangga & industri, serta hormon steroid & seks; contoh: pil KB. Metode analisis yang digunakan untuk menentukan kandungan senyawa organik individu membutuhkan alat tertentu yang mampu mengukur konsentrasi pada tingkat yang sangat rendah, yaitu pada rentang  $10^{-12}$  hingga  $10^{-3}$  mg/L (Metcalf & Eddy, 2004, p. 100). Metode analisis dengan *gas chromatographic* (GC) dan *high-performance liquid chromatographic* (HPLC) adalah yang umum digunakan untuk mendeteksi senyawa organik individu.

### 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

dalam air limbah. 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. Berikut ini adalah penjelasan mengenai mikroorganisme tersebut selengkapnya.

#### a. Bakteri

Bakteri merupakan organisme bersel satu yang mereproduksi diri dengan melakukan pembelahan sel. Bakteri mampu melarutkan partikel makanannya yang berada di luar dinding selnya melalui enzim-enzim ekstraseluler, sehingga dapat menyisihkan materi organik dalam air limbah baik yang terlarut dalam air limbah, berbentuk koloid, maupun dalam bentuk padatan. Bakteri anaerob dapat mengoksidasi materi organik menggunakan ion penerima elektron selain dari oksigen. Dan dalam melangsungkan reaksi metabolisnya, bakteri anaerob dapat menghasilkan  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2$ , materi-materi organik tereduksi, dan sejumlah bakteri tambahan. Bakteri aerob menggunakan oksigen sebagai penerima elektron. Hasil akhir dari aktivitas aerobik antara lain ialah  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_3$ , dan sejumlah bakteri tambahan. Sebagian besar bakteri yang ditemukan dalam air limbah tidak bersifat obligat aerob atau anaerob, akan tetapi lebih cenderung bisa hidup dalam lingkungan aerob dan anaerob. Terdapat beberapa reaksi spesifik yang hanya dipengaruhi oleh sejumlah populasi yang terbatas dari bakteri obligat aerob atau obligat anaerob, seperti contohnya ialah pada reaksi reduksi  $\text{CO}_2$  menjadi  $\text{CH}_4$  serta oksidasi dari  $\text{NH}_3$  menjadi  $\text{NO}_3^-$ .

Beberapa bakteri berbahaya berkoloni di dalam saluran pencernaan manusia dan secara rutin dikeluarkan melalui feces. Disebabkan bakteri patogen dapat ditemukan pada feces dari individu yang terinfeksi, maka terdapat berbagai macam jenis dan tingkat konsentrasi dari bakteri patogen dan non-patogen dalam air limbah domestik. Salah satu bakteri yang umum

ditemukan dalam air limbah adalah berasal dari genus *Salmonella*. Genus ini memiliki berbagai jenis spesies yang dapat menyebabkan penyakit bagi manusia dan hewan. Beberapa penyakit dan bakteri penyebabnya antara lain: diare disebabkan oleh *Escherichia coli*, demam tifus disebabkan oleh *Salmonella typhi*, disentri disebabkan oleh *Shigella*, dan kolera disebabkan oleh *Vibrio cholerae*.

#### b. Protozoa

Protozoa merupakan hewan bersel satu yang mereproduksi diri dengan pembelahan sel. Terdapat berbagai macam spesies protozoa yang diklasifikasi berdasarkan bentuk, ukuran, pergerakan, dan substratnya. Protozoa dapat bersifat aerob, anaerob, atau fakultatif. Sumber makanan utama protozoa adalah bakteri, maka dengan mengurangi jumlah bakteri dalam air limbah protozoa akan mengubah rasio makanan/massa, sehingga menstimulasi perkembangan bakteri dan stabilisasi air limbah. Beberapa organisme protozoa seperti *Cryptosporidium parvum*, *Cyclospora*, dan *Giardia lamblia* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap sistem kekebalan tubuh atau imunitas manusia terutama pada anak-anak, orang tua, penderita kanker yang sedang menjalani perawatan, dan penderita AIDS.

#### c. Helminths

Istilah helminths digunakan untuk mendeskripsikan kumpulan cacing-cacing. Terdapat 3 filum utama dari helminths, antara lain ialah Nematoda (cacing bulat), Platyhelminthes (cacing pipih), dan Annelida (cacing berbuku-buku). Infeksi yang terjadi pada manusia biasanya diakibatkan oleh nematoda dan platyhelminthes. Telur-telur helminths, yang berukuran 10 µm hingga 100 µm, dapat dihilangkan melalui proses sedimentasi, filtrasi, dan kolam stabilisasi (Metcalf & Eddy, 2004, p. 113). Akan tetapi, beberapa telur-telur helminths resisten terhadap kondisi lingkungan ekstrim tertentu dan masih dapat bertahan pada proses-proses desinfeksi lumpur. Sebagai contoh, desinfeksi melalui klorinasi dan *mesophilic anaerobic digestion* tidak efektif dalam menginaktivasi beberapa telur-telur helminths.

#### d. Virus

Lebih dari 100 jenis virus yang mampu menimbulkan infeksi dan penyakit diekskresikan oleh manusia. Virus-virus tersebut melipatgandakan diri di dalam saluran intestinal dan dilepaskan dalam feses dari manusia yang telah terinfeksi penyakit dari virus tersebut. Virus-virus yang termasuk dalam *human enteric viruses* antara lain adalah enterovirus (seperti polio, echo, *coxsackie*), virus-virus Norwalk, rotavirus, reovirus, calicivirus, adenovirus, dan virus hepatitis A. Virus Norwalk dan rotavirus dapat menyebabkan penyakit diare dan merupakan sumber utama patogen melalui pencemaran air. Reovirus dan Adenovirus yang telah terisolasi dalam air limbah dapat menyebabkan penyakit pernapasan, gastroenteritis, dan infeksi pada mata (Metcalf & Eddy, 2004, p. 114).

Dalam hal analisis mikroorganisme, penggunaan mikroorganisme yang paling banyak ditemui keberadaannya dalam air limbah dan yang paling mudah untuk dilakukan pengetesan biasanya digunakan sebagai organisme indikator untuk target patogen tertentu. Sebagai contoh adalah bakteri *coliform* sebagai organisme indikator. Organisme *E.coli* yang dapat ditemukan dalam feses hewan berdarah panas merupakan organisme target yang digunakan dalam menganalisis total *coliform*. Konsentrasi bakteri total *coliform* biasanya dinyatakan dalam satuan MPN per 100 mL sampel (*most probable number per 100 mL*).

### 2.3 Estimasi Kuantitas Air Limbah Domestik

Data kebutuhan air bersih sangat dibutuhkan dalam mengestimasi kuantitas produksi air limbah. Kuantitas produksi air limbah tersebut 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:

- Pada hari kerja kebutuhan air bersih akan lebih tinggi daripada hari libur
- Kondisi hari yang panas dan kering akan meningkatkan kebutuhan air bersih dibandingkan saat kondisi hari yang dingin atau hujan

- 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. Rata-Rata Kebutuhan Air Bersih Perkantoran

Sumber	Unit	Debit (L/unit.hari)
Syed Qasim.1985	Pegawai	65
SNI 03-7065-2005	Pegawai	50

Tabel 2.4. Kebutuhan Air Bersih Pada Beberapa Sumber Aktivitas

Sumber	Unit	Debit (L/unit.hari)
Restoran	<i>Customer</i>	30
Cafeteria	<i>Customer</i>	6
	Pegawai	40
Kedai kopi ( <i>Coffee shop</i> )	<i>Customer</i>	20
	Pegawai	40
<i>Barber shop</i>	Kursi	210
<i>Beauty salons</i>	<i>Station</i>	1026
<i>Laundries</i>		
▪ <i>Laundromat</i>	Mesin	2200
▪ <i>Commercial</i>	Mesin	3000

Sumber: Syed Qasim, 1985

Tabel 2.5. Pemakaian Air &amp; Frekuensi Penggunaan Per Jam Tiap Alat Plumbing

No	Alat Plumbing	Volume Pemakaian Air Untuk penggunaan 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 (dengan tangki gelontor)	22,5-31,5	12
6.	Bak cuci tangan kecil	3	12-20
7.	Bak cuci tangan biasa ( <i>lavatory</i> )	10	6-12
8.	Bak cuci dapur ( <i>sink</i> ) Dengan keran 13 mm	15	6-12
9.	Bak cuci dapur ( <i>sink</i> ) Dengan keran 20 mm	25	6-12
10.	Bak mandi rendam ( <i>bath tub</i> )	125	3
11.	Pancuran mandi ( <i>shower</i> )	24-60	3

Sumber: Soufyan M. Noerbambang, 1993

Tabel 2.6 Faktor Pemakaian (%) dan Jumlah Alat Plumbing

A \ B	1	2	4	8	12	16	24	32	40	50	70	100
C	1	50 Satu	50 2	40 3	30 4	27 5	23 6	19 7	17 7	15 8	12 9	10 10
D	1	100 dua	75 3	55 5	48 6	45 7	42 10	40 13	39 16	38 19	35 25	33 33

A: Jumlah alat plumbing

C: Kloset dengan katup gelontor

B: Jenis Alat Plumbing

D: Alat Plumbing Biasa

Sumber: Soufyan M. Noerbambang, 1993

Untuk estimasi debit air limbah menggunakan cara perhitungan jumlah alat-alat plumbing dapat dilakukan dengan mendata seluruh alat-alat plumbing yang digunakan pada bangunan tempat kegiatan sumber limbah cair tersebut kemudian memperkirakan frekuensi pemakaian alat-alat plumbing 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). Setelah didapatkan debit dari masing-masing alat-alat plumbing, selanjutnya angka yang didapat dikalikan dengan faktor penggunaan serentak. Nilai faktor-faktor yang digunakan dalam perhitungan dapat dilihat pada tabel 2.5 dan 2.6.

#### 2.4 Standar Baku Mutu

Metode yang umum dilakukan terhadap efluent air limbah hasil olahan adalah membuangnya ke badan air penerima terdekat, contohnya adalah sungai, danau, atau muara sungai (estuaria). Dan untuk memelihara kualitas dari badan air penerima tersebut, maka terdapat 2 metode yang dapat dilakukan. Metode pertama adalah melalui penetapan standar kualitas pada badan air penerima, dan metode kedua adalah dengan menetapkan standar bagi kualitas efluent air limbah.

Standar efluent air limbah umumnya disebut sebagai baku mutu air limbah, dan menurut PP No. 20 Tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air, baku mutu limbah cair (air limbah) adalah batas kadar dan jumlah unsur pencemaran yang ditenggang adanya dalam limbah cair untuk dibuang dari satu jenis kegiatan tertentu. Untuk karakteristik air limbah domestik dapat digolongkan pula berdasarkan baku mutu limbah cair domestik. Hal tersebut sesuai dengan Pergub DKI 122/2005 bahwa air limbah yang akan dibuang ke saluran umum kota wajib memenuhi ketentuan tentang baku mutu air limbah domestik. Perincian mengenai baku mutu air limbah domestik disajikan dalam tabel 2.7 dan 2.8.

Tabel 2.7. Baku Mutu Limbah Cair Domestik (1)

Parameter	Satuan	Skala Pengolahan	
		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

Sumber: Pergub DKI 122/2005

Tabel 2.7 (sambungan)

Parameter	Satuan	Skala Pengolahan	
		Individual / Rumah Tangga	Komunal
Minyak & Lemak	mg/L	10	20
Senyawa Biru Metilen	mg/L	2	2
COD	mg/L	100	80
BOD	mg/L	75	50

Sumber: Pergub DKI 122/2005

Setelah melalui proses pengolahan di instalasi, selanjutnya air hasil olahan pun juga harus memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan dan disesuaikan dengan peruntukan badan air penerima. Dengan adanya standar baku mutu bagi badan air penerima, maka tingkat pengolahan yang dibutuhkan oleh pengelola instalasi pengolahan harus dinaikkan agar kualitas efluent air limbahnya dapat lebih tinggi atau setidaknya sama dengan kualitas baku mutu badan air penerima. Di Gedung Manggala Wanabakti digunakan standar baku mutu dari Keputusan Gubernur Kepala DKI Jakarta Nomor 582 Tahun 1995 Tentang Penetapan Peruntukan Dan Baku Mutu Air Sungai/Badan Air Serta Baku Mutu Limbah Cair Di Wilayah DKI Jakarta, dengan menggunakan Baku Mutu Golongan C, yaitu untuk peruntukan perikanan & peternakan. Berikut ini adalah parameter dan kandungan baku mutu yang ditetapkan;

Tabel 2.8. Baku Mutu Air Limbah Domestik (2)

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6-9
BOD	mg/L	100
TSS	mg/L	100
Minyak & Lemak	mg/L	10

Sumber: Kepmen LH No.112 Tahun 2003

Tabel 2.9 Baku Mutu Air Sungai Golongan C  
Untuk Perikanan & Peternakan

PARAMETER	SATUAN	KADAR MAKSIMUM	KETERANGAN
FISIKA			
01. Suhu	°C	Suhu air normal ±3°C	
02. Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/L	-	
KIMIA			
A. KIMIA ORGANIK			
01. Air Raksa	mg/L	0.002	
02. Amoniak Bebas	mg/L	0.020	
03. Arsen	mg/L	0.50	
04. Flourida	mg/L	1.50	
05. Kadmium	mg/L	0.010	
07. Klorin Bebas	mg/L	0.003	
08. Kromium, valensi 6	mg/L	Nihil	
09. Nitrit, sebagai N	mg/L	0.060	
10. Oksigen Terlarut (DO)	mg/L	*	Disyaratkan lebih besar dari 3
14. pH	-	6.0 - 8.5	Merupakan batas minimum dan maksimum
15. Selenium	mg/L	0.050	
16. Seng	Mg/L	0.020	
17. Sianida	mg/L	0.010	
18. Sulfida, sebagai H <sub>2</sub> S	mg/L	0.002	
19. Tembaga	mg/L	0.020	
20. Timbal	mg/L	0.030	
B. KIMIA ORGANIK			
01. BHC	mg/L	0.210	
02. DDT	mg/L	0.002	
03. Endrine	mg/L	0.004	
04. Fenol	mg/L	0.001	
05. Minyak dan Lemak	mg/L	0.50	
06. Organofosfat dan Carbamate	Mg/L	0.10	
07. Senyawa Aktif Biru Metilen	mg/L	0.20	
RADIOAKTIVITAS			
01. Aktivitas Alpha (Gross Alpha Activity)	Bq/L	0.10	
02. Aktivitas Beta (Gross Beta Activity)	Bq/l	1.0	

Sumber: Pergub DKI Jakarta No. 582/1995

## 2.5 Pengolahan Air Limbah Domestik

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, p. 313). 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 primer lanjutan (*advanced primary treatment*), pengolahan sekunder (*secondary treatment*), dan pengolahan tersier (*tertiary/advanced treatment*).

### 2.5.1 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 operasinal 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*

Merupakan unit operasi awal yang diaplikasikan dalam instalasi pengolahan air limbah. Unit ini digunakan untuk menyaring materi-materi padatan kasar besar seperti kayu, plastik, logam, dan sejenisnya. Terdapat berbagai macam tipe unit *screening* yang digunakan dalam pengolahan dan secara umum unit ini diklasifikasikan berdasarkan ukuran materi yang akan disaring (*coarse screen* atau *fine screen*), atau berdasarkan mekanisme pembersihan materi yang telah tersaring (*manually cleaned* atau *mechanically cleaned*).

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 *grit removal*. Dan untuk instalasi pengolahan air limbah skala kecil hingga sedang, jenis *hand-cleaned coarse screen* adalah yang paling umum diterapkan. Berikut ini adalah desain tipikal untuk *bar racks*:

Tabel 2.10 Desain Tipikal *Bar Racks* (1)

Parameter	Unit	Metode Pembersihan	
		Manual	Mekanik
<u>Ukuran Bar</u>			
lebar	mm	5 – 15	5 – 15
kedalaman	mm	25 – 38	25 – 38
Celah Antar Bar	mm	25 – 50	15 – 75
Slope Dari Vertikal	°	30 – 45	0 – 30
<u>Kecepatan Aliran</u>			
maksimum	m/s	0.3-0.6	0.6 – 1.0
minimum	m/s	-	0.3 – 0.5
Headloss	mm	150	150-600

Sumber: Metcalf &amp; Eddy, 2004

Tabel 2.11 Desain Tipikal *Bar Racks* (2)

Faktor Desain	Metode Pebersihan	
	Manual	Mekanik
Kecepatan (m/s)	0.3-0.6	0.6-1.0
<u>Ukuran Bar</u>		
lebar (mm)	4-8	8 – 10
kedalaman (mm)	25 – 50	50 – 75
Celah Antar Bar (mm)	25 – 75	10 – 50
<u>Slope Dari Horizontal (°)</u>	45 – 60	75 – 85
<u>Allowable Headloss (mm)</u>	150	150
Maksimum Headloss (mm)	800	800

Sumber: Syed Qasim, 1985

Unit *shredding* atau dapat pula disebut sebagai unit pencacahan merupakan unit yang digunakan untuk mereduksi ukuran materi padatan kasar, sehingga materi tersebut dapat disisihkan pada operasi pengolahan selanjutnya. Alat yang

biasa digunakan pada unit ini antara lain ialah *grinder*, *barminutor*, dan *comminutor*. *Grinder* mencacah materi padatan yang telah disisihkan oleh *mechanically cleaned bar screen* untuk selanjutnya dikembalikan ke aliran air limbah melalui unit screening. *Barminutor* merupakan *bar screen* dengan pencacah yang berada di antara celah *bar screen* yang bergerak ke atas dan ke bawah. *Comminutor* merupakan alat *shredding* yang paling umum digunakan pada instalasi pengolahan air limbah skala kecil (kurang dari 0,2 m<sup>3</sup>/s). Alat ini dapat mencacah partikel menjadi berukuran 6–20 mm tanpa adanya mekanisme penyisihan partikel yang telah tercacah dari aliran air limbah (Metcalf & Eddy, 2004, p. 331). *Comminutor* ini terdiri atas *screen* horisontal berbentuk silinder dengan pencacah yang berotasi diantara celah *screen* tersebut. Partikel yang telah tercacah selanjutnya akan terus mengalir melewati *screen* menuju unit pengolahan selanjutnya.

#### b. Unit *Grit Removal*

*Grit* merupakan partikel-partikel anorganik inert sebesar batu pasir seperti contohnya adalah pecahan tulang, biji-bijian, cangkang telur, fragmen-fragmen logam, dan sejenisnya yang tidak dapat tersaring pada unit screening dan lebih berat dari pada materi organik. *Grit* penting untuk disisihkan untuk melindungi alat-alat pengolahan mekanis dan pompa dari abrasi dan kerusakan, mencegah terjadinya penyumbatan pada pipa dan penimbunannya pada saluran, mencegah akumulasinya pada dasar bak pengolahan lumpur dan tangki sedimentasi primer, dan tangki aerasi yang dapat menyebabkan efek sementisasi atau pengerasan, serta mereduksi akumulasi material inert dalam bak aerasi dan pengolahan lumpur yang dapat menyebabkan terjadinya kehilangan sejumlah volume yang dibutuhkan.

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

Pada tahap pengolahan primer umumnya diterapkan pengolahan secara fisik seperti contohnya ialah koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi. Tahapan ini pada intinya ialah menyisihkan materi padatan tersuspensi dan materi organik dalam air limbah. Berikut ini adalah penjelasan singkat selengkapnya;

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 disisihkan 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 Sedimentasi

Merupakan bagian dari unit operasi pengolahan air limbah yang digunakan untuk melangsungkan pemisahan antara zat padat dengan likuid melalui gaya gravitasi dengan tujuan menyisahkan kandungan padatan tersuspensi dalam air limbah.

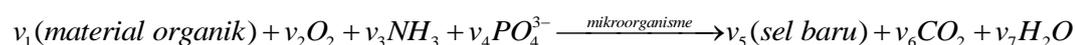
Pada beberapa instalasi pengolahan air limbah, setelah dilakukan pengolahan pada tahapan primer, diterapkan pula pengolahan primer lanjutan (*advanced primary treatment*). Fungsi diterapkannya tahap pengolahan ini ialah untuk meningkatkan level penyisihan padatan tersuspensi dan materi organik dalam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

penambahan bahan kimia atau penerapan unit filtrasi. Pada unit filtrasi mekanisme yang dilakukan ialah melalui media berpori untuk menyisihkan sebanyak mungkin zat padat tersuspensi halus yang belum secara sempurna tersisihkan pada tahap pengolahan air limbah sebelumnya. Partikel-partikel padatan tersuspensi dalam air limbah hasil olahan akan mengalir dan terperangkap pada pori-pori media filtrasi

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

Proses biologi dan kimiawi umumnya diterapkan pada tahap pengolahan sekunder untuk menyisihkan *biodegradeable organic material* dan padatan tersuspensi, dan pada beberapa pengolahan konvensional diterapkan pula proses desinfeksi. 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 particulate* menjadi produk akhir yang sesuai dengan kriteria yang diinginkan, (2) menyatukan padatan koloid tersuspensi dan yang bersifat *nonsettleable* menjadi flok atau *biofilm*, (3) mentransformasi atau menyisihkan kandungan *nutrien*, dan (4) pada beberapa penerapan pengolahan, menyisihkan konstituen organik spesifik dengan kandungan yang kecil dalam air limbah (Metcalf & Eddy, 2004, p. 548).

Mikroorganisme, seperti contohnya bakteri, berperan penting dalam pengolahan air limbah secara biologi. Mikroorganisme-mikroorganisme dalam air limbah akan mengoksidasi materi organik, baik dalam bentuk partikulat maupun terlarut, menjadi produk akhir sederhana dengan tambahan biomassa, seperti yang ditunjukkan pada reaksi kimia pada oksidasi biologi aerobik terhadap materi organik berikut ini (Metcalf & Eddy, 2004, p. 548);



(keterangan:  $v_i$  = koefisien stoikiometri)

Oksigen, amonia, dan fosfat digunakan untuk merepresentasikan *nutrien* yang dibutuhkan untuk mengkonversi materi organik menjadi produk akhir yang lebih sederhana (karbondioksida dan air). Keberadaan mikroorganisme adalah untuk melangsungkan proses oksidasi tersebut. Adanya sel baru adalah untuk merepresentasikan biomassa yang diproduksi sebagai hasil dari oksidasi materi organik. Mikroorganisme juga digunakan untuk menghilangkan kandungan nitrogen dan fosfor dalam proses pengolahan air limbah. Bakteri-bakteri dari spesies atau jenis tertentu juga mampu untuk mengoksidasi amonia menjadi nitrit dan nitrat, dan ada pula jenis bakteri yang dapat mereduksi nitrogen yang telah teroksidasi menjadi gas nitrogen. Disebabkan *specific gravity* dari biomassa lebih kecil daripada air, maka penyisihan dari materi tersebut dapat dilakukan melalui pengendapan secara gravitasi. Namun, walaupun biomassa yang dihasilkan dari materi organik secara periodik disisihkan, tidak pernah akan dicapai pengolahan yang sempurna karena biomassa itu sendiri terukur sebagai BOD pada efluent air limbah (Metcalf & Eddy, 2004, p. 548–549 & 551).

Proses pengolahan air limbah secara biologi dapat dibagi menjadi 2 kategori utama, antara lain ialah; proses *suspended growth* dan *attached 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*. Berbeda dengan proses *suspended growth*, pada proses *attached growth* mikroorganisme yang berperan mengkonversi materi organik atau , hidup dan berkembang menyatu pada material inert tertentu. Materi organik dan disisihkan 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*.

Selanjutnya, pada proses *suspended growth* penerapan yang umum digunakan adalah proses *activated-sludge*. Pada proses tersebut berlangsung produksi sejumlah mikroorganisme yang diaktifkan yang mampu menstabilkan air limbah dalam kondisi aerobik. Pada tangki aerasi yang digunakan pada proses ini, dibutuhkan waktu kontak untuk mencampur dan mengaerasi air limbah influent dengan suspensi mikrobial (biasa disebut dengan *mixed liquor suspended solids* – MLSS). Alat-alat mekanis juga diperlukan untuk menghasilkan pencampuran dan transfer oksigen yang cukup pada proses tersebut. *Mixed liquor* tersebut selanjutnya mengalir menuju *clarifier* tempat suspensi mikrobial diendapkan. Biomassa yang telah mengendap tersebut, yang disebut sebagai *activated sludge*, selanjutnya dikembalikan ke tangki aerasi untuk meneruskan proses biodegradasi dari materi organik dalam air limbah influent. Pembahasan mengenai proses *activated-sludge* selengkapnya adakan dijelaskan pada bagian selanjutnya.

#### 2.5.4 Pengolahan Tersier (*Tertiary/Advanced Treatment*)

Tahap pengolahan tersier merupakan tahap pengolahan tambahan yang umumnya diterapkan kombinasi antara unit operasi dan unit proses untuk menyisahkan residu padatan tersuspensi dan konstituen-konstituen lain dalam air limbah yang tidak tereduksi secara sempurna pada pengolahan sekunder konvensional. Pengolahan tersier dinilai penting untuk dilakukan karena adanya beberapa pertimbangan antara lain ialah: (1) kebutuhan untuk menyisahkan materi organik dan total padatan tersuspensi yang tidak dapat disisahkan secara sempurna pada pengolahan sekunder, sehingga mampu memenuhi persyaratan standar efluent air limbah yang ditetapkan, (2) kebutuhan untuk menyisahkan total padatan tersuspensi agar memungkinkan untuk dilakukan proses desinfeksi lanjutan secara efektif, (3) kebutuhan untuk menyisahkan kandungan dalam air limbah yang belum dapat disisahkan secara sempurna pada pengolahan sekunder untuk mencegah terjadinya eutrofikasi pada badan air penerima, (4) kebutuhan untuk menyisahkan materi organik spesifik untuk memenuhi persyaratan efluent pengolahan air limbah yang lebih ketat, umumnya untuk kepentingan reuse, dan

Tabel 2.12. Konstituen Residu yang Umum Ditemukan  
Pada Efluent Air Limbah & Efeknya

Konstituen Residu	Efek
Koloid & Padatan Tersuspensi Organik Dan Organik	
Padatan Tersuspensi	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menyebabkan deposit lumpur dan meningkatkan kekeruhan pada badan air penerima</li> </ul>
Padatan Koloid	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mempengaruhi turbiditas efluent air limbah</li> </ul>
Materi Organik Partikulat	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mengurangi ketersediaan oksigen dalam air limbah</li> <li>▪ Melindungi bakteri dari proses desinfeksi</li> </ul>
Materi Organik Terlarut	
TOC	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mengurangi kandungan oksigen</li> </ul>
<i>Refractory organics</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bersifat karsinogen, berbahaya untuk manusia</li> </ul>
VOCs	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bersifat karsinogen, berbahaya untuk manusia</li> </ul>
<i>Pharmaceutical compounds</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mempengaruhi spesies akuatik (<i>endocrine disruptor</i>, perubahan sifat seks)</li> </ul>
<i>Surfactants</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menimbulkan busa (<i>foaming</i>)</li> </ul>
Materi Organik Terlarut	
Amonia	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Meningkatkan kebutuhan klorin</li> <li>▪ Dapat berubah menjadi nitrat, sehingga mengurangi kandungan oksigen</li> <li>▪ Bersama-sama dengan fosfor dapat menimbulkan pertumbuhan akuatik yang tidak diinginkan</li> <li>▪ Toksik terhadap ikan</li> </ul>
Nitrat	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menstimulasi pertumbuhan akuatik &amp; alga</li> <li>▪ Dapat menyebabkan <i>methemoglobinemia</i> pada bayi (<i>blue baby</i>)</li> </ul>
Fosfor	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menstimulasi pertumbuhan akuatik &amp; alga</li> <li>▪ Mengganggu proses koagulasi</li> <li>▪ Mengganggu proses <i>lime-soda softening</i></li> </ul>
Ca & Mg	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Meningkatkan hardness dan TDS</li> </ul>
Klorida	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menyebabkan rasa asin</li> </ul>
TDS	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mengganggu aktivitas pertanian dan industri</li> </ul>
Biologis	
Bakteri, protozoa, virus	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menimbulkan penyakit terhadap manusia</li> </ul>

Sumber: Metcalf & Eddy, 2004

(5) kebutuhan untuk menyisahkan materi anorganik spesifik dan konstituen organik agar dapat di-*reuse* untuk aktivitas industri (Metcalf & Eddy, 2004, p. 1037).

Terdapat berbagai macam konstituen residu yang masih bisa didapatkan terkandung dalam air limbah setelah tahap pengolahan sekunder dilakukan. Jenis dan konsentrasi 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*, *advanced 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.

## 2.6 Proses Pengolahan Lumpur Aktif (*Activated Sludge*)

Proses pengolahan dasar dari *activated sludge* dibagi menjadi 3 jenis, antara lain ialah: (1) proses dengan reaktor yang menggunakan mikroorganisme yang dijaga dalam suspensi dengan adanya operasi aerasi, (2) pemisahan antara padatan dengan 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. Berikut ini adalah kriteria desain yang digunakan untuk proses pengolahan lumpur aktif dengan *extended aeration* (aerasi dilakukan selama 24 jam);

Tabel 2.13 Kriteria Desain Proses Pengolahan Lumpur Aktif (*Extended Aeration*)

Parameter	Nilai
Beban BOD:	
BOD – MLSS Loading	0,04–0,10 (kg/kg.hari)**
BOD – Volume Loading	0,16–0,4* atau 0,1–0,3** (kg/m <sup>3</sup> .hari)
F/M Rasio	0,05–0,15*
MLSS	3.000–6.000* atau 2000–5000** mg/L
Rasio Resirkulasi Lumpur ( $Q_{\text{lumpur}}/Q_{\text{limbah}}$ )	0,75–1,50*
Efisiensi Pengolahan BOD <sub>5</sub>	75–95 %*
Umur Lumpur ( $\theta_c$ )	20–30* atau 20–40** hari
Waktu Tinggal Hidrolik Bak Aerasi ( $\theta$ )	18–36* atau 20–30** jam
Konstanta Kinetik (Y)	0,4–0,8 kg biomassa/kg BOD <sub>5</sub> **
<i>Endogeneous decay rate constant</i> ( $k_d$ )	0,025–0,075 /hari**
Kandungan padatan dalam lumpur (x)	4.000–12.000 mg/L**

Sumber: \*)Tom D. Reynold & Paul A. Richard, 1995, \*\*)Metcalf & Eddy, 2004

### 2.6.1 Variabel Operasional

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 pengolahan akan efektif bila prinsip-prinsip dasar yang berhubungan dengan pertumbuhan mikroorganisme dapat diterapkan dengan baik. Berikut ini akan dijelaskan parameter-parameter analisis bagi pengolahan biologi, khususnya dalam proses *activated sludge*;

1. Beban BOD (*BOD loading rate* atau *volumetric loading rate*); adalah jumlah massa BOD di dalam air limbah yang masuk (influent) dibagi dengan volume reaktor. Beban BOD-MLSS merupakan jumlah massa BOD di dalam air limbah influent dibagi dengan nilai MLSS dan volume reaktor. Berikut ini adalah perhitungannya (Sekjen Depkes RI, 2008, p. 33):

$$BOD \text{ Loading} = \frac{Q \times S_0}{V} \quad (2.1)$$

$$BOD - MLSS \text{ Loading} = \frac{Q \times S_0}{MLSS \times V} \quad (2.2)$$

Keterangan

Q : Debit air limbah masuk (m<sup>3</sup>/day)

S<sub>0</sub> : Konsentrasi BOD di dalam influent (kg/m<sup>3</sup>)

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

2. *Mixed liquor suspended solids* (MLSS). Di dalam tangki aerasi pada pengolahan *activated sludge* adalah berisi campuran antara air limbah dengan lumpur aktif yang dikembalikan ke dalam reaktor (*recycled activated sludge*), campuran ini disebut sebagai *mixed liquor*. Selanjutnya, MLSS merupakan kandungan padatan tersuspensi yang terdiri atas biomassa (campuran mikroorganisme dengan konstituen organik dan mineral) (Sekjen Depkes RI, 2008, p. 34).
3. *Mixed Liquor Volatile Suspended Solids* (MLVSS). Porsi material organik pada MLSS diwakili oleh MLVSS 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 (Sekjen Depkes RI, 2008, p. 34).

4. *Food-to-Microorganism Ratio* atau *Food-to-Mass ratio* (F/M Ratio). F/M Ratio merupakan jumlah zat organik (BOD) yang dihilangkan dibagi dengan jumlah massa mikroorganisme di dalam reaktor atau bak aerasi. Berikut ini adalah perhitungannya (Peavy, Howard S. & Rowe, Donald R., 1985, p. 239):

$$F / M = \frac{Q(S_0 - S)}{MLSS \times V} \quad (2.3)$$

Keterangan:

- Q : Debit air limbah masuk (m<sup>3</sup>/day)  
 S<sub>0</sub> : Konsentrasi BOD di dalam influent (kg/m<sup>3</sup>)  
 S : Konsentrasi BOD di dalam effluent (kg/m<sup>3</sup>)  
 MLSS : *Mixed liquor suspended solids* (kg/m<sup>3</sup>)  
 V : Volume reaktor (m<sup>3</sup>)

Rasio F/M ini dapat dikontrol dengan cara mengatur laju sirkulasi lumpur aktif dari bak pengendapan akhir yang disirkulasi ke bak aerasi. Jika laju sirkulasi lumpur aktif tinggi, maka akan tinggi pula rasio F/M nya. Untuk pengolahan air limbah dengan sistem lumpur aktif *extended aeration*, rasio F/M nya adalah 0,05–0,15 kg BOD<sub>5</sub> per MLSS per hari, tetapi dapat juga mencapai 1,5 jika digunakan *high rate aeration* (Tom D. Reynold & Paul A. Richard, 1995, p. 429). Rasio F/M yang rendah menunjukkan kondisi endogenous bahwa mikroorganisme dalam tangki aerasi dalam kondisi “lapar”, sehingga makin rendah rasio F/M makin efisien pengolahan limbahnya.

5. Waktu tinggal hidrolis (*Hydraulics Detention Time*; HDT,  $\theta$ ); merupakan waktu rata-rata yang dibutuhkan oleh larutan influent masuk dalam tangki aerasi untuk proses lumpur aktif, dan nilainya akan berbanding terbalik

dengan laju pengenceran. Berikut ini adalah perhitungannya (Sekjen Depkes RI, 2008, p. 35):

$$HRT = \frac{1}{D} = \frac{V}{Q} \quad (2.4)$$

Keterangan:

$V$  : Volume reaktor ( $m^3$ )

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

$D$  : Laju pengenceran ( $jam^{-1}$ )

6. Umur lumpur (*sludge age*) atau waktu tinggal rata-rata sel (*mean cell residence time*,  $\theta_c$ ). Parameter ini 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. 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 solids* ( $kg/m^3$ )

$V$  : Volume reaktor ( $m^3$ )

$\theta_c$  : Umur lumpur (hari)

$k_d$  : *Endogenous decay rate constant* ( $hari^{-1}$ )

$Y$  : Konstanta kinetik ( $kg$  biomassa/ $kg$  BOD<sub>5</sub>)

$Q$  : Debit influen limbah ( $m^3/hari$ )

$S_0$  : BOD influen ( $mg/L$ )

$S$  : BOD efluen ( $mg/L$ )

Umur lumpur dapat bervariasi antara 20–40 hari untuk sistem lumpur aktif *extended aeration* (Tom D. Reynold & Paul A. Richard, 1995, p. 429). 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, antara lain sebagai unit penjernihan dan pemekatan lumpur (*thickening*).

7. Kemampuan pengendapan lumpur. Pengendapan lumpur akan bergantung pada rasio F/M dan umur lumpur. Pengendapan yang baik dapat terjadi jika lumpur yang mengandung mikroorganisme tersebut berada dalam fase *endogeneous*, yaitu pada saat karbon dan sumber energi terbatas dan jika pertumbuhan bakteri rendah. Pengendapan lumpur yang baik dapat terjadi bila rasio F/M yang rendah, sedangkan rasio F/M yang tinggi mengakibatkan pengendapan lumpur yang buruk. Rasio F/M yang optimum untuk air limbah domestik adalah antara 0,05–0,15 dan rata-rata waktu tinggal sel yang diperlukan untuk pengendapan yang efektif adalah 20–30 hari (Tom D. Reynold & Paul A. Richard, 1995, p. 429). Pengendapan yang tidak baik dapat terjadi akibat gangguan tiba-tiba pada parameter fisik (suhu dan pH), kekurangan makanan, dan masuknya zat toksik yang dapat menyebabkan hancurnya sebagian flok yang sudah terbentuk. Untuk operasi rutin, operator harus mengukur laju pengendapan lumpur. Cara konvensional untuk mengamati kemampuan pengendapan lumpur adalah dengan menentukan indeks volume lumpur (*sludge volume index*, SVI). Berikut ini adalah perhitungan SVI (Sekjen Depkes RI, 2008, p. 36):

$$SVI = \frac{SV \times 1000}{MLSS} \quad (2.6)$$

Keterangan:

SVI : Sluge Volume Index (mL/gr)

SV : Volume endapan lumpur di dalam silinder kerucut setelah 30 menit pengendapan (mL)

MLSS : *Mixed liquor suspended solids* (kg/m<sup>3</sup>)

8. Massa & Volume Pembuangan Lumpur Per Hari (Peavy, Howard S. & Rowe, Donald R., 1985, p. 237)

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

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)

9. Kebutuhan Oksigen Teori (Qasim, Syed R, 1985, p. 350)

$$O_2 \text{ kg / d} = \frac{Q(S_0 - S)}{BOD_5 - BOD_L} - 1,42P_x \quad (2.8)$$

Keterangan:

- $BOD_L$  :  $1,42 \times \text{Cellular Mass}$   
 $BOD_5 - BOD_L$  : 0,68  
 $P_x$  : VSS dalam debit influent air limbah (kg/day)  
 $Q$  : Debit influent limbah (m<sup>3</sup>/hari)  
 $S_0$  : BOD influent (mg/L)  
 $S$  : BOD efluent (mg/L)

10. *Standard Oxygen Requirement* (SOR), Faktor koreksi kelarutan oksigen, dan temperatur rata-rata air limbah di bak aerasi pada kondisi lapangan (Qasim, Syed R, 1985, p. 350)

$$SOR \text{ kg / d} = \frac{N}{[(C'_{sw} \beta F_a - C) / C_{sw}] (1,024)^{T-20} \alpha} \quad (2.9)$$

$$F_a = \left( 1 - \frac{\text{altitude} \cdot m}{9450} \right) \quad (2.10)$$

$$T = \frac{AfT_a + QT_i}{Af + Q} \quad (2.11)$$

Keterangan:

- $N$  : Kebutuhan oksigen teori (kg/hari)
- $C_{sw}$  : Kelarutan oksigen dalam air keran pada kondisi standar  $20^{\circ}\text{C} = 9,15$  mg/L
- $C'_{sw}$  : Kelarutan oksigen dalam air keran pada suhu di lapangan
- $C$  : Kandungan DO minimum yang dipertahankan dalam bak aerasi (mg/L)
- $\beta$  : *Salinity surface tension factor*, digunakan 0,9 untuk air limbah (DO jenuh pada air limbah/DO jenuh pada air keran)
- $\alpha$  : Faktor koreksi transfer oksigen; 0,8-0,9
- $F_a$  : Faktor koreksi kelarutan oksigen berdasarkan elevasi
- $T$  : Temperatur rata-rata air limbah di bak aerasi pada kondisi di lapangan ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $A$  : Luas permukaan ( $\text{m}^2$ )
- $T_a$  : Temperatur ambien rata-rata ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $T_i$  : Temperatur influent rata-rata ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $f$  : Faktor proporsionalitas, 0,5 (m/hari)
- $Q$  : Debit influent ( $\text{m}^3/\text{hari}$ )

11. Nilai Kebutuhan Udara (Qasim, Syed R, 1985, p. 351)

$$\text{Kebutuhan Udara} = \frac{SOR}{1,201 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 0,232 \text{ g } O_2 / \text{g udara}} \quad (2.12)$$

Keterangan:

- Massa jenis  $O_2$  pada temperatur & tekanan standar* :  $1,201 \text{ kg}/\text{m}^3$
- %  $O_2$  di Udara* : 23,2%

12. Kebutuhan Oksigen Aerasi (menggunakan nilai  $\theta_c$ ) (McGhee, Terence J., 1991, p. 455)

$$O_2 \text{ demand} = 1,47(S_0 - S)Q - 1,15(x\forall / \theta_c) \quad (2.13)$$

Keterangan:

- $x$  : *Mixed liquor suspended solids* ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

- $V$  : Volume reaktor ( $m^3$ )  
 $Q$  : Debit influent limbah ( $m^3$ /hari)  
 $S_0$  : BOD influent (mg/L)  
 $S$  : BOD efluent (mg/L)  
 $\theta_c$  : Umur Lumpur (hari)

13. Debit udara yang dibutuhkan (dari nilai kebutuhan  $O_2$  menggunakan nilai  $\theta_c$ ) (McGhee, Terence J., 1991, p. 455)

$$Q_{udara} = \frac{\text{kebutuhan } O_2}{0,232(1,20) \cdot \eta} \quad (2.14)$$

Keterangan:

- Massa jenis  $O_2$  pada temperatur & tekanan standar :  $1,201 \text{ kg/m}^3$   
 %  $O_2$  di Udara :  $23,2\%$   
 $\eta$  : efisiensi

14. Nilai Pengembalian Lumpur (*Return Sludge Rate*) (Qasim, Syed R, 1985, p. 343)

$$MLSS(Q + Q_r) = TSS_{sludge} \times Q_r \quad (2.15)$$

Keterangan:

- $Q$  : Debit influent air limbah ( $m^3$ /hari)  
 $Q_r$  : Debit return sludge ( $m^3$ /hari)  
 $TSS_{sludge}$  : Kandungan padatan dalam lumpur (mg/L)

## 2.7 Unit Desinfeksi (Klorinasi)

Klorin merupakan zat kimia yang umum digunakan sebagai desinfektan karena efektif membunuh mikroorganisme 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. Di dalam air, gas klorin bereaksi dengan air membentuk asam hipoklorit, HOCl. Berikut ini adalah persamaan reaksinya (Sawyer, Clair N & McCarty, Perry L., 2003, p. 574);



Reaksi tersebut dominan terjadi pada air yang mengandung klorin dengan injeksi klorin menggunakan *vaccum chlorinator* dengan pH 2–3. Pada larutan dengan pH lebih dari 3, maka reaksi akan berpindah seluruhnya ke bagian kanan, sehingga hampir seluruh kandungan gas klorin tidak tersisa dan seluruhnya terlarut di dalam air dan asam hipoklorit pun terbentuk. Maka dari itu, untuk efektivitas unit desinfeksi yang diterapkan menggunakan klorin, pH air limbah diupayakan dijaga pada kondisi asam. Asam hipoklorit yang terbentuk merupakan asam lemah dan sangat sukar untuk terdisosiasi pada pH dibawah 6, berikut ini adalah reaksi kimia yang terjadi (Sawyer, Clair N & McCarty, Perry L., 2003, p. 575);



Keseluruhan jumlah gas klorin, asam hipoklorit, dan ion hipoklorit yang tersisa dalam air limbah setelah dilakukan injeksi klorin disebut sebagai residu klorin bebas (*free chlorine residual*). Zat-zat kimia seperti chloramine dan bentuk rekatif klorin lainnya yang terbentuk setelah kebutuhan klorin terpenuhi disebut sebagai residu klorin kombinasi (*combined chlorine residual*).

## 2.8 Kolam Stabilisasi Limbah (*Stabilization Pond*)

Kolam stabilisasi limbah adalah kolam yang digunakan untuk memperbaiki kualitas air limbah. Kolam ini mengandalkan proses-proses alamiah untuk mengolah air limbah, yaitu dengan memanfaatkan keberadaan bakteri, alga, dan zooplankton untuk mereduksi bahan pencemar organik yang terkandung dalam air limbah (Puspita, L., Ratnawati, E., Suryadiputra, INN., & Meutia, AA., 2005, p. 154). Selain mereduksi kandungan bahan organik, kolam stabilisasi limbah juga mampu mengurangi kandungan berbagai jenis mikroorganisme penyebab penyakit. Kolam stabilisasi limbah umumnya terdiri dari 3 jenis kolam, antara lain kolam anaerobik, fakultatif, dan maturasi (aerobik).

Dalam istilah teknis pengolahan air limbah, selain kolam stabilisasi limbah dikenal juga istilah laguna limbah. Bedanya ialah pada keberadaan aerator. Pada laguna limbah, aerator digunakan untuk membantu aerasi kolam, sedangkan pada kolam tidak. Ciri khas pada kolam dan laguna limbah adalah dasarnya yang berupa tanah, ukurannya yang luas, kedalamannya yang relatif dangkal, dan waktu

retensi air limbah yang relatif lama. Kolam stabilisasi dan laguna limbah pada dasarnya berfungsi untuk memperbaiki kualitas air limbah agar mutu hasil olahannya memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan dan tidak mencemari badan air penerima. Air olahan dari kolam stabilisasi limbah ini pada tahap selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk mengairi lahan pertanian. Air olahan ini sangat baik bagi keperluan irigasi karena didalamnya terkandung nitrogen, fosfor, dan natrium yang bermanfaat sebagai *nutrien* bagi tanaman. Endapan tanah organik yang terkumpul di bagian dasar kolam juga dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki kualitas tanah pertanian. Selain itu, biogas yang dihasilkan pada kolam anaerobik juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi.

### 2.7.1 Tipe-Tipe Kolam Stabilisasi Limbah

Berdasarkan proses biologis dominan yang berlangsung di dalamnya, kolam stabilisasi limbah dapat dibedakan menjadi 3 tipe, yaitu: kolam anaerobik, fakultatif, dan maturasi (aerobik). Berikut ini adalah penjelasan dari kutipan selengkapnya:

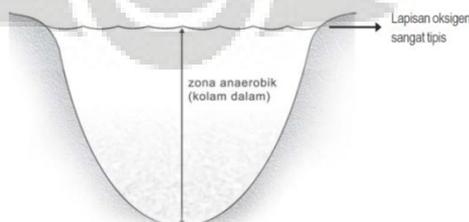
Dalam satu sistem pengolahan air limbah, tiga macam kolam tersebut dapat disusun secara seri dengan urutan anaerobik-fakultatif-maturasi. Suatu sistem pengolahan dapat terdiri dari satu seri kolam pengolahan atau dapat juga terdiri dari beberapa seri kolam pengolahan yang disusun secara paralel. Pada dasarnya, kolam anaerobik dan fakultatif didesain untuk mengurangi kandungan BOD, sedangkan kolam maturasi didesain untuk mengurangi kandungan mikroorganisme patogen. Akan tetapi, sebenarnya proses reduksi BOD juga terjadi pada kolam maturasi dan proses reduksi mikroorganisme juga terjadi pada kolam anaerobik dan kolam fakultatif, tetapi proses-proses tersebut tidaklah dominan. Pada kondisi tertentu, kolam maturasi terkadang dibutuhkan. Kolam maturasi hanya dibutuhkan jika air limbah yang akan diolah memiliki kadar BOD >150 mg/L, atau jika air hasil olahan akan digunakan kembali untuk pemanfaatan irigasi. Agar diperoleh hasil olahan yang baik, air limbah yang akan masuk ke dalam kolam anaerobik harus disaring terlebih dahulu untuk menghilangkan kandungan pasir, kerikil, dan padatan berukuran

besar lainnya. (Puspita, L., Ratnawati, E., Suryadiputra, INN., & Meutia, AA., 2005, p. 157)

a. Kolam Anaerobik

Berikut ini adalah penjelasan selengkapnya mengenai kolam anaerobik yang diambil dari kutipan:

Kolam anaerobik umumnya memiliki kedalaman 2–5 m. Pada kolam ini air limbah diolah dalam kondisi anaerobik oleh mikroorganisme anaerob. Mikroorganisme tersebut mengubah senyawa organik dalam air limbah menjadi gas  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , dan  $\text{CH}_4$  yang akan menguap ke udara, sementara berbagai padatan dalam air limbah akan mengalami sedimentasi akan terkumpul di dasar kolam sebagai lumpur. Kolam anaerobik menerima masukan beban organik dalam jumlah yang besar, biasanya  $>300$  mg/L BOD atau setara dengan 3000 kg/Ha/hari untuk kolam dengan kedalaman 3 m. Rendahnya jumlah oksigen yang ada dibandingkan dengan tingginya beban organik yang masuk ini menyebabkan kolam selalu dalam keadaan anaerob. Pada kolam ini tidak ditemukan alga, walau terkadang lapisan film tipis yang terdiri dari Chlamidomonas dapat dijumpai di permukaan kolam. Kolam anaerobik ini bekerja sangat baik pada kondisi iklim hangat (degradasi BOD bisa mencapai 60–85%). Waktu retensi kolam ini sangatlah pendek, air limbah dengan kadar BOD 300 mg/L dapat terolah dalam waktu 1 hari pada kondisi suhu udara  $>20$  °C. (Puspita, L., Ratnawati, E., Suryadiputra, INN., & Meutia, AA., 2005, p. 158–159)



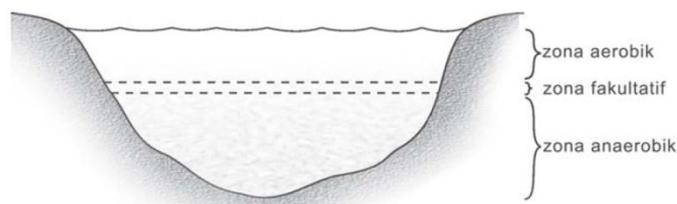
Gambar 2.1. Kolam Anaerobik

Sumber: Puspita, L., Ratnawati, E., Suryadiputra, INN., & Meutia, AA., 2005

b. Kolam Fakultatif

Berikut ini adalah penjelasan selengkapnya mengenai kolam fakultatif yang diambil dari kutipan:

Kolam fakultatif memiliki kedalaman 1–2 m. Pada kolam ini proses pengolahan air limbah dilakukan oleh mikroorganisme aerobik, fakultatif, dan anaerobik, serta alga. Ada 2 macam kolam fakultatif, yaitu (1) kolam fakultatif primer yang menerima dan mengolah air limbah dari sumber pencemarnya, dan (2) kolam fakultatif sekunder yang menerima dan mengolah air limbah yang telah diolah dalam kolam anaerobik. Proses-proses yang berlangsung pada 2 macam kolam fakultatif ini sama. Kolam fakultatif primer biasa dibangun jika beban kolam terlalu dekat dengan fasilitas umum karena dapat mengeluarkan bau menyengat yang akan sangat mengganggu masyarakat sekitar. Kolam fakultatif didesain untuk mendegradasi air limbah yang bebannya tidak terlalu tinggi (100–400 kg BOD/Ha/hari pada suhu udara antara 20–25°C), hal ini dilakukan agar jumlah populasi alga dalam perairan tetap terjaga, mengingat sumber oksigen terbesar dalam kolam berasal dari fotosintesis alga. Pada kolam fakultatif, bahan organik diubah menjadi CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, serta sel bakteri dan alga baru dan dilakukan dalam suasana aerobik. Oksigen yang dihasilkan dari proses fotosintesis alga dimanfaatkan oleh bakteri aerobik untuk mendegradasi limbah organik lebih lanjut. Karena proses fotosintesis hanya dapat berlangsung pada kolam air yang masih menerima penetrasi cahaya matahari, maka pada kolam air bagian dasar tercipta kondisi anaerobik. Pada lapisan anaerobik ini bahan organik didegradasi oleh bakteri-bakteri anaerobik. Selain mendegradasi bahan organik, pada kolam fakultatif juga terjadi degradasi berbagai jenis mikroorganisme penyebab penyakit. (Puspita, L., Ratnawati, E., Suryadiputra, INN., & Meutia, AA., 2005, p. 159–160)



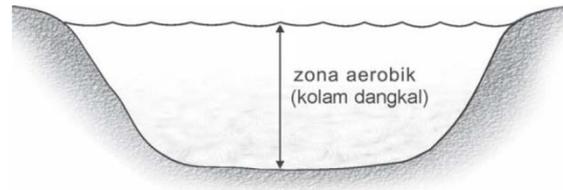
Gambar 2.2. Kolam Fakultatif

Sumber: Puspita, L., Ratnawati, E., Suryadiputra, INN., & Meutia, AA., 2005

c. Kolam Maturasi

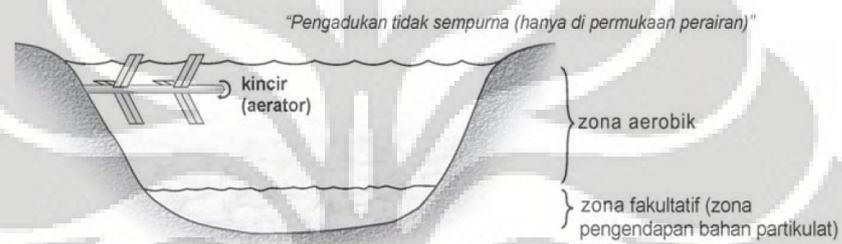
Berikut ini adalah penjelasan selengkapnya mengenai kolam maturasi yang diambil dari kutipan:

Kolam maturasi merupakan kolam sangat dangkal (dengan kedalaman 1–1,5 m) yang didesain untuk mendegradasi kandungan mikroorganisme patogen dan *nutrien*. Degradasi mikroorganisme patogen dan *fecal coliform* dalam kolam maturasi dilakukan oleh sinar matahari, yaitu melalui proses *exogenous photosensitization* yang dimediasi oleh oksigen. Kondisi kolam yang dangkal menyebabkan kolam ini hampir tidak memiliki stratifikasi secara vertikal dan oksigen terlarut terdapat pada keseluruhan kolam air. Keanekaragaman jenis alga pada kolam maturasi jauh lebih tinggi daripada kolam fakultatif. Kolam maturasi umumnya hanya merupakan kolam tambahan yang dibangun jika pengelola pengolahan air limbah menginginkan kualitas air olahan yang jauh lebih baik (terutama dari sudut pandang bakteriologi), karena sebetulnya air olahan dari kolam anaerobik dan kolam fakultatif telah cukup memadai bagi keperluan irigasi. Kolam maturasi juga dapat berfungsi sebagai penyangga jika kolam fakultatif tidak bekerja sebagaimana mestinya. Selain itu kolam maturasi juga berguna untuk mereduksi kandungan *nutrien*. Proses reduksi nitrogen dan fosfor pada kolam maturasi sangat signifikan, bahkan proses reduksi *nutrien* pada kolam maturasi ini merupakan yang terbesar dari keseluruhan unit kolam stabilisasi limbah. (Puspita, L., Ratnawati, E., Suryadiputra, INN., & Meutia, AA., 2005, p. 161–162)



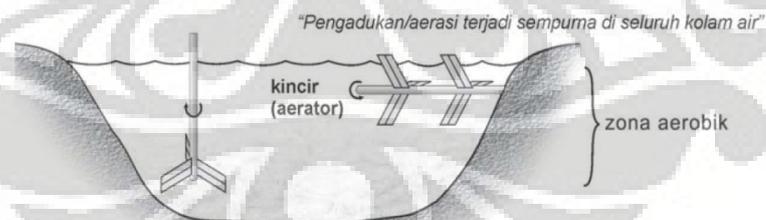
Gambar 2.3. Kolam Maturasi (Aerobik)

Sumber: Puspita, L., Ratnawati, E., Suryadiputra, INN., & Meutia, AA., 2005



Gambar 2.4. Laguna Fakultatif

Sumber: Puspita, L., Ratnawati, E., Suryadiputra, INN., & Meutia, AA., 2005



Gambar 2.5. Laguna Aerobik

Sumber: Puspita, L., Ratnawati, E., Suryadiputra, INN., & Meutia, AA., 2005

### **BAB 3**

## **METODOLOGI PENELITIAN**

Metode penelitian merupakan pendekatan yang digunakan dalam mengkaji masalah-masalah penelitian (Tatang:1990), dan berdasarkan metodenya penelitian ini dikategorikan sebagai penelitian evaluasi. Penelitian evaluasi pada satu pihak merupakan kasus khusus evaluasi (penilaian), dan di lain pihak merupakan penelitian. Sebagai evaluasi, ia merupakan bagian dari proses menilai dan menetapkan keberhargaan (nilai) sesuatu, dan proses memperbandingkan sesuatu hal, hasil karya, atau peristiwa dengan tolak ukur atau standar tujuan. Sedangkan sebagai penelitian, ia bisa merupakan bagian dari proses pencarian penjelasan mengenai gejala yang dilakukan dengan menggunakan metode-metode keilmuan yang sistematis dan terkendali.

Penelitian dan evaluasi bisa dibedakan berdasarkan tujuan penelitian. Tujuan penelitian adalah untuk menghimpun pengetahuan atau mendapatkan penjelasan mengenai suatu gejala, sehingga kesimpulan umum (generalisasi) dapat dibuat. Sementara tujuan evaluasi adalah melukiskan, memperoleh, dan menyediakan keterangan untuk pembuatan keputusan, dan dapat dilakukan dengan menggunakan semua metode empirik seperti survey, eksperimen, dan penelitian alamiah.

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 selesai dikerjakan. Evaluasi sumatif lebih banyak mendasarkan diri pada teknik-teknik dari metode eksperimental, sementara evaluasi formatif lebih mendasarkan diri pada metode-metode inkuiri ilmiah. Selanjutnya, berdasarkan definisi tersebut penelitian ini merupakan jenis evaluasi formatif.

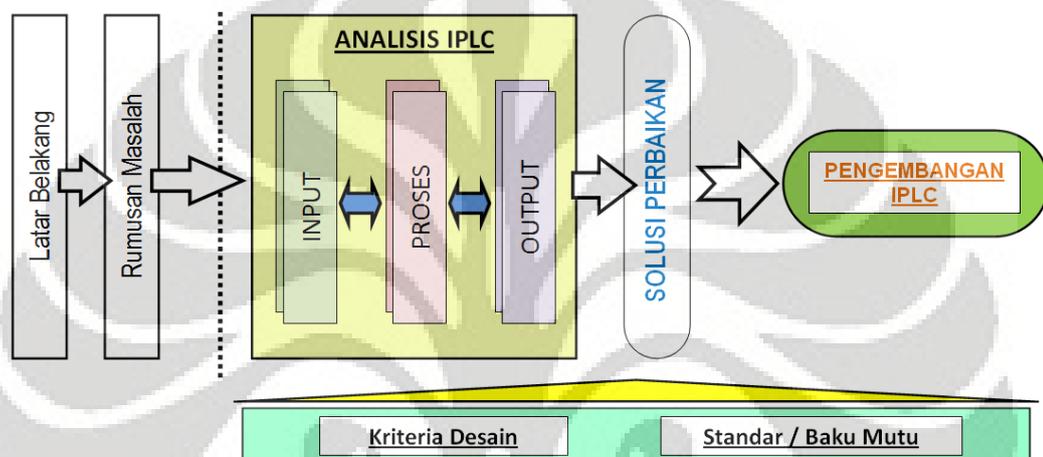
### 3.1 Kerangka Berpikir

Pada penelitian ini akan dilakukan evaluasi dengan studi kasus pada *Sewage Treatment Plant* (STP) atau Instalasi Pengolahan Limbah Cair (IPLC) pada Gedung Perkantoran Manggala Wanabakti. Waktu penelitian dilakukan pada bulan Oktober–Desember 2010. Dasar pemilihan waktu ini dilakukan untuk mendapatkan data termutakhir pada objek studi terkait dan disesuaikan dengan rentang waktu penyusunan skripsi yang dapat penulis lakukan. Selain itu, pada awal tahun 2011 pengelolaan instalasi pada objek studi terkait akan mengalami perubahan manajemen secara keseluruhan, sehingga waktu penelitian hingga bulan Desember 2010 memungkinkan penulis untuk melakukan pengambilan data-data yang diperlukan tanpa mengganggu aktivitas pengelola. Selanjutnya, dasar pemilihan objek studi didasarkan adanya permasalahan pada instalasi, terutama yang terjadi akibat peningkatan beban limbah, baik pada karakteristik maupun pada debit limbahnya. Alasan lain dari pemilihan objek studi ini ialah pada faktor aksesibilitas yang mudah dan terjangkau, terutama relatif terhadap lokasi Kampus Universitas Indonesia Depok sebagai pusat aktivitas penelitian dan analisis bagi data-data yang didapatkan.

Penelitian yang dilakukan ialah untuk mengevaluasi efektivitas kinerja sistem pengolahan limbah cair pada objek studi dan selanjutnya memberikan input rekomendasi berupa desain ulang (re-desain) atau bentuk rekomendasi lainnya untuk meningkatkan performa instalasi. Evaluasi ini penting untuk dilakukan sebagai upaya pengembangan (*upgrading*) instalasi yang telah diterapkan untuk menangani peningkatan beban hidrolis dan organik pada air limbah yang terjadi seiring waktu berjalan semenjak awal beroperasinya instalasi tersebut, sehingga dapat menyesuaikan dengan standar baku mutu lingkungan yang berlaku atau standar lain yang lebih ketat dari itu. Berikut ini adalah beberapa permasalahan awal yang didapatkan dari keterangan pengelola instalasi yang dijadikan batu pijakan untuk penelitian lebih lanjut antara lain ialah:

- meningkatnya beban hidrolis instalasi hingga mencapai  $\pm 100\%$ , mulai dari awal beroperasi pada tahun 1983 sampai dengan tahun 2010 (27 tahun)
- terjadi perubahan karakteristik limbah akibat perubahan peruntukan beberapa ruang-ruang di dalam Gedung Manggala Wanabakti

- terjadi pengendapan pada kolam stabilisasi limbah hingga mencapai  $\pm 2$  m
- standar baku mutu yang digunakan pada kolam stabilisasi limbah adalah yang tertera pada Keputusan Gubernur DKI Jakarta No. 582 Tahun 1995 Tentang Penetapan Peruntukan & Baku Mutu Air Sungai / Badan Air Serta Baku Mutu Limbah Cair Di Wilayah DKI Jakarta, sedangkan pada kenyataannya air limbah pada kolam stabilisasi limbah tersebut mayoritas terserap ke dalam tanah.



Gambar 3.1. Skema Kerangka Berpikir

### 3.2 Metode Pengolahan Data

Dalam mengevaluasi efektifitas kinerja IPLC tersebut dapat dilakukan melalui 3 tahapan, antara lain ialah: (1) meninjau input limbah, antara lain dalam hal kuantitas dan kualitas atau karakteristik limbah yang diproduksi, (2) meninjau kinerja dari unit pengolahan yang diterapkan dan bagaimana pengaruhnya terhadap sistem secara keseluruhan pada instalasi pengolahan terkait, dan (3) meninjau output limbah, yaitu dalam hal kualitas air limbah effluent yang selanjutnya disesuaikan dengan baku mutu air limbah dan baku mutu badan air penerima dari peraturan yang telah ditetapkan. Berikut ini adalah perincian analisis yang akan dilakukan pada masing-masing tahapan, antara lain:

a. Analisis input limbah

i) Debit

- Jumlah populasi manusia yang beraktivitas pada gedung pada saat penelitian dilakukan, dan dinamika pertumbuhannya sejak instalasi dibangun
- Nilai fluktuasi debit pemakaian air bersih dan produksi air limbah
- Jumlah unit alat-alat plambing yang digunakan

ii) Karakteristik

- Jenis-jenis aktivitas yang terdapat pada objek studi untuk mengidentifikasi karakteristik produksi limbah cair yang dihasilkan
- Analisis kualitas fisik dan kimia dari influent air limbah

b. Analisis proses pengolahan

i) Unit Pengolahan

- Desain teknis dan mekanisme pengolahan air limbah yang dijalankan pada instalasi
- Efisiensi (% *removal*) dan performa pada unit-unit pengolahan

ii) Kinerja Unit

- Kualitas fisik dan kimia yang penting bagi analisis
- Observasi
- Identifikasi permasalahan yang terjadi

c. Analisis output limbah

i) Kolam stabilisasi

- Kondisi eksisting
- Mekanisme pengolahan air limbah yang terjadi pada kolam stabilisasi

ii) Kinerja kolam stabilisasi

- Kondisi efluent air limbah dari instalasi yang masuk ke kolam stabilisasi
- Kesesuaian dengan baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan
- Identifikasi permasalahan yang terjadi
- Observasi

Dalam menganalisis IPLC berdasarkan poin-poin diatas dibutuhkan data-data yang mendukung. Kelengkapan data-data ini akan sangat mempengaruhi kesempurnaan dari evaluasi yang dilakukan, sehingga permasalahan yang terjadi pada IPLC dapat dilihat secara lebih komprehensif. Berikut ini adalah jenis data-data yang dibutuhkan bagi analisis:

### **Analisis Input Limbah**

Debit:

- 1) jumlah populasi manusia yang beraktivitas dalam Gedung Manggala Wanabakti pada rentang waktu tahun 1983-2010
- 2) desain awal nilai luas penggunaan ruang gedung (misal: 4m<sup>2</sup>/orang)
- 3) jumlah unit alat-alat plambing, seperti kloset, wastafel, keran dinding, shower, urinoir, dan bak cuci piring; yang digunakan pada gedung pelayanan IPLC
- 4) nilai rata-rata tipikal penggunaan air pada alat-alat plambing
- 5) debit influent limbah IPLC. Debit ini dihitung setiap jam-nya pada hari dan waktu jam kerja gedung. Nilai sampel fluktuasi debit diambil pada waktu satu hari, antara Senin–Jumat, dan diukur 1 kali dalam 1 jam, mulai dari jam 07:30–17:30 (11 data nilai debit).

Karakteristik:

- 1) informasi peruntukan ruang dan jenis aktivitas yang terdapat dalam gedung (pada rentang waktu 1983–2010)
- 2) data analisis kualitas influent air limbah, antara lain meliputi: pH, BOD, COD, TSS, minyak & lemak, amonia, total nitrogen, nitrogen organik, nitrit, nitrat, dan fosfat.

Keterangan pengambilan sampel:

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 (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, yaitu antara pukul 07:30–17:30 (untuk mendapatkan kualitas influent air limbah rata-rata). Air-air limbah yang diambil terpisah pada jam-jam yang berbeda tersebut (pada 1 hari) dikumpulkan pada satu wadah dan dianalisis sebagai 1 sampel air limbah influent.

### **Analisis Proses Pengolahan**

Unit pengolahan:

- 1) standar efisiensi pengolahan pada masing-masing unit dan pengukuran efisiensi unit. Pengukuran efisiensi unit meliputi efisiensi BOD dan TSS.
- 2) dimensi unit, didapatkan dari gambar teknik unit pengolahan
- 3) alat-alat yang digunakan pada unit pengolahan (contoh; aerator & grinder)
- 4) gambar denah gedung.

Kinerja unit:

- 1) foto instalasi dan mekanisme pengolahan pada unit yang sedang berjalan
- 2) volume tangki/unit masing-masing pengolahan
- 3) waktu tinggal hidrolis limbah
- 4) jumlah kebutuhan oksigen
- 5) debit air masuk/keluar masing-masing unit
- 6) rasio sirkulasi lumpur & umur lumpur
- 7) TSS dalam lumpur limbah
- 8) analisis kualitas pengolahan limbah dalam unit pengolahan menggunakan parameter antara lain: pH, TSS, COD, dan BOD.

Keterangan pengambilan sampel:

Untuk analisis kualitas air limbah pada unit aerasi, sampel diambil pada 2 bak aerasi yang berbeda yang memiliki lubang *overflow* ke unit sedimentasi. Diambil 2 titik sampel yang berbeda pada masing-masing bak, antara lain ialah: titik proses (di tengah bak aerasi) dan titik outlet (di dekat lubang pelimpah ke unit sedimentasi). Untuk analisis kualitas air limbah pada unit sedimentasi hanya dilakukan pada outlet pengolahan sedimentasi (1 sampel), dan bila memungkinkan dilakukan pula pengukuran kandungan padatan & SVI pada

lumpur. Selanjutnya, untuk unit klorinasi, analisis air limbah yang diukur hanya menggunakan parameter klorida ( $Cl^{-1}$ ), dengan sampel air diambil pada titik tengah bak klorinasi. Terakhir, sampel air limbah hasil olahan diambil pada bak penampung air limbah hasil olahan atau pada titik outlet bak klorinasi dengan menganalisis parameter yang telah disebutkan sebelumnya, ditambah dengan parameter amonia, total nitrogen, nitrogen organik, nitrit, nitrat, dan fosfat.

Pengukuran analisis yang telah dilakukan, selanjutnya digunakan untuk dasar desain ulang (re-desain) dengan melakukan perhitungan beban organik, beban BOD-MLSS, F/M *ratio*, % penyisihan, kebutuhan udara aerasi, debit resirkulasi lumpur aktif, debit pembuangan lumpur, dan perhitungan lainnya yang dibutuhkan dengan mengacu pada kriteria desain yang ada.

Waktu pengambilan sampel tidak bergantung pada *detention time* masing-masing unit pengolahan karena penelitian ini tidak mengamati unit-unit yang ada secara *plug flow* (bukan bersifat eksperimen), sehingga tidak masalah bila sampel air limbah diambil pada waktu yang bersamaan.

### **Analisis Output Limbah**

Kolam stabilisasi:

- 1) gambar skema danau dan informasi alat sirkulasi yang digunakan pada kolam stabilisasi
- 2) titik-titik inlet dan outlet saluran air limbah yang masuk ke kolam
- 3) luasan, kedalaman, dan volume kolam
- 4) kondisi endapan di dalam kolam
- 5) informasi mengenai biota air yang terdapat dalam kolam.

Kinerja kolam stabilisasi:

- 1) analisis kualitas air limbah pada danau (outlet saluran IPLC dan kondisi danau secara keseluruhan) dengan parameter yang sesuai dengan baku mutu sungai golongan C pada Kep. Gub. Propinsi DKI Jakarta No. 582 Tahun 1995.

Keterangan pengambilan sampel:

Sampel air danau diambil secara komposit pada beberapa titik-titik di seluruh area danau (dijadikan sebagai 1 sampel yang tercampur dari berbagai titik sampel yang berbeda) yang merepresentasikan sampel air danau secara keseluruhan. Hampir sama dengan sampling yang dilakukan pada input pengolahan limbah bahwa pemilihan hari sampling tidak mempengaruhi nilai kualitas air limbah selama masih pada hari-hari kerja, dan jam pengambilan sampel juga dilakukan pada jam kerja (diupayakan antara pagi hingga siang, jam 09:00–15:00). Analisis kimia & fisik yang dilakukan terhadap air danau antara lain meliputi: TSS, BOD, COD, minyak lemak, pH, amonia, total nitrogen, nitrogen organik, nitrit, nitrat, dan fosfat.

Setelah analisis-analisis tersebut dilakukan, maka permasalahan sebenarnya yang terjadi pada instalasi dapat diketahui secara lebih rinci dan komprehensif. Permasalahan-permasalahan yang telah teridentifikasi tersebut selanjutnya dicari solusi bagi perbaikannya. Solusi ini kemudian diterjemahkan dalam ide pengembangan (*upgrade*) bagi instalasi. Pengembangan yang diajukan dapat beraneka macam disesuaikan dengan kondisi permasalahan dan solusi yang tepat dan layak bagi perbaikannya. Ide pengembangan tersebut kemudian akan dideskripsikan teknis pengoperasian atau detilnya.

## BAB 4

### GAMBARAN UMUM OBJEK STUDI

Gedung Manggala Wanabakti merupakan salah satu gedung perkantoran yang berada di atas tanah negara di Jalan Jenderal Gatot Subroto, Kelurahan Gelora, Kecamatan Tanah Abang, Jakarta Pusat. Gedung ini berada dalam satu kompleks dengan taman hutan dan keseluruhan bangunan pelengkapannya termasuk tanahnya memiliki luas kurang lebih 121.450 m<sup>2</sup>. Gedung ini dibangun pertama kali untuk digunakan sebagai kantor instansi kehutanan dan sebagai Gedung Pusat Kehutanan (*forestry center*) yang diresmikan oleh Presiden Kedua RI, Soeharto pada tanggal 24 Agustus 1983.

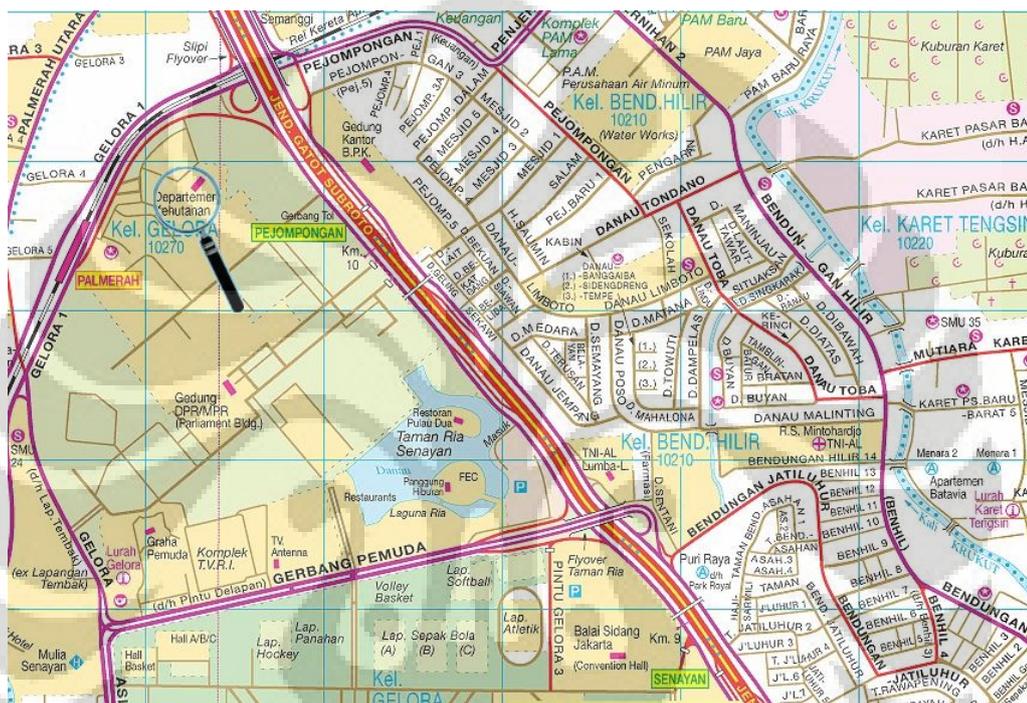


Gambar 4.1. Area Kompleks Gedung MPR/DPR & Gedung Perkantoran Manggala Wanabakti

Sumber: Google Earth

Gedung Manggala Wanabakti ini mengambil slogan sebagai “Hunian Perkantoran Berwawasan Lingkungan”. Slogan tersebut tercermin dari lansekap arsitekturnya dan adanya taman hutan kota yang memberikan keserasian bagi lingkungan. Selain itu, gedung ini juga memiliki pengelolaan limbah cair domestik tersendiri dalam sebuah Instalasi Pengolahan Limbah Cair (IPLC) atau lebih

umum disebut sebagai *Sewage Treatment Plant* (STP) yang digunakan untuk mengolah limbah cair yang dihasilkan dari aktivitas domestik dari gedung tersebut. Air limbah yang telah diolah dari STP selanjutnya disalurkan ke danau buatan sebagai kolam stabilisasi limbah yang masih berada di kompleks Gedung Perkantoran Manggala Wanabakti untuk dipurifikasi secara alami sebelum akhirnya dibuang ke saluran drainase kota menuju ke Kali Grogol.



Gambar 4.2 Lokasi Gedung Manggala Wanabakti (Departemen Kehutanan)  
(Skala 1:12.500)

Sumber: Peta Digital Jabodetabek 05/06

Gedung Manggala Wanabakti sendiri terdiri atas blok-blok yang digunakan untuk perkantoran pemerintah (Kementerian Kehutanan), perkantoran swasta, fasilitas umum (auditorium, *health & sport center*, salon, pusat uji kesehatan, restoran), bangunan *mechanical & electrical*, sarana olah raga dan kelengkapannya, dan bangunan khusus seperti Museum Kehutanan dan Perpustakaan Kehutanan.



Gambar 4.3 Ruang Museum (kiri) & Perpustakaan (kanan)

Sumber: Hasil Dokumentasi



Gambar 4.4 Fasilitas Kolam Renang (kiri) & Lapangan Tenis (kanan)

Sumber: Hasil Dokumentasi



Gambar 4.5 Fitness Center (kiri) & Ruang Auditorium (kanan)

Sumber: Hasil Dokumentasi

Sejak awal berdiri pada tahun 1983 hingga saat ini (tahun 2010), gedung ini telah mengalami peningkatan jumlah populasi pengguna (karyawan) dan perubahan pada tata guna ruang. Perubahan-perubahan tersebut telah berdampak signifikan pada timbulan limbah cair yang dihasilkan, sehingga berpengaruh pada peningkatan beban hidrolis, perubahan karakteristik limbah, dan terjadinya pengendapan pada kolam maturasi. Akibatnya, Instalasi Pengolahan Limbah Cair (IPLC) atau *Sewage Treatment Plant* (STP) yang digunakan pada gedung tersebut mengalami peningkatan beban proses pengolahan, sehingga mengurangi kinerja IPLC/STP.

#### 4.1 Luasan Bangunan Gedung

Gedung Manggala Wanabakti terdiri atas 7 blok gedung yang berhubungan satu dengan yang lain. Gedung-gedung ini menjadi satu kesatuan dalam satu kompleks dengan taman hutan, area parkir, serta bangunan lainnya seperti masjid, kantin, perpustakaan, dan musem. Data luasan lantai blok-blok gedung yang ada dapat dilihat pada halaman selanjutnya. Data tersebut penting untuk mengestimasi timbulan air limbah yang dihasilkan pada bangunan gedung bertingkat dengan menggunakan data luasan lantai gedung efektif yang selanjutnya dihitung dengan standar pemakaian luas lantai per orang untuk diketahui perkiraan jumlah populasi manusia yang beraktifitas di keseluruhan gedung tersebut.



Gambar 4.6 Gedung Perkantoran  
Blok I (kiri), Blok IV (tengah), Blok VII (kanan)

Sumber: Hasil Dokumentasi

Berikut ini adalah detail perkiraan luasan bangunan dan lahan yang terdapat dalam kompleks area gedung perkantoran Manggala Wanabakti;

Tabel 4.1 Luas Area  
Pemeliharaan Gedung

No.	Area	Lantai	Luas (m <sup>2</sup> )
<b>Bangunan Gedung</b>			
1.	Blok I	15	22.881
	Blok II	2	12.210
	Blok III	2	4.449
	Blok IV	11	27.979
	Blok V	2	1.529
	Blok VI	2	3.578
	Blok VII	14	15.299
<b>Bangunan &amp; Fasilitas Pendukung</b>			
2.	1. Gedung Serbaguna	1	703
	2. Gedung Parkir	3	13.770
	3. Gedung Alamanda (BNI)	1	190
	4. Masjid Nurul Ajam	2	1.900
	5. Kantin	1	134
	6. Pos Jaga	1	72
	7. Toilet Umum	1	15
3.	<b>Taman Hutan</b>	-	42.000

Tabel 4.2 Luas Area  
Komersial Gedung

No.	Area	Lantai	Luas (m <sup>2</sup> )
1.	<b>Blok IV</b>	11	27.979
2.	<b>Auditorium DS</b>	2	10.279
<b>Blok VII</b>			
3.	1. Perum Perhutani	-	3.545
	2. Inhutani I	-	145
	3. Inhutani IV	-	225
4.	<b>PUKM</b>	-	1.270

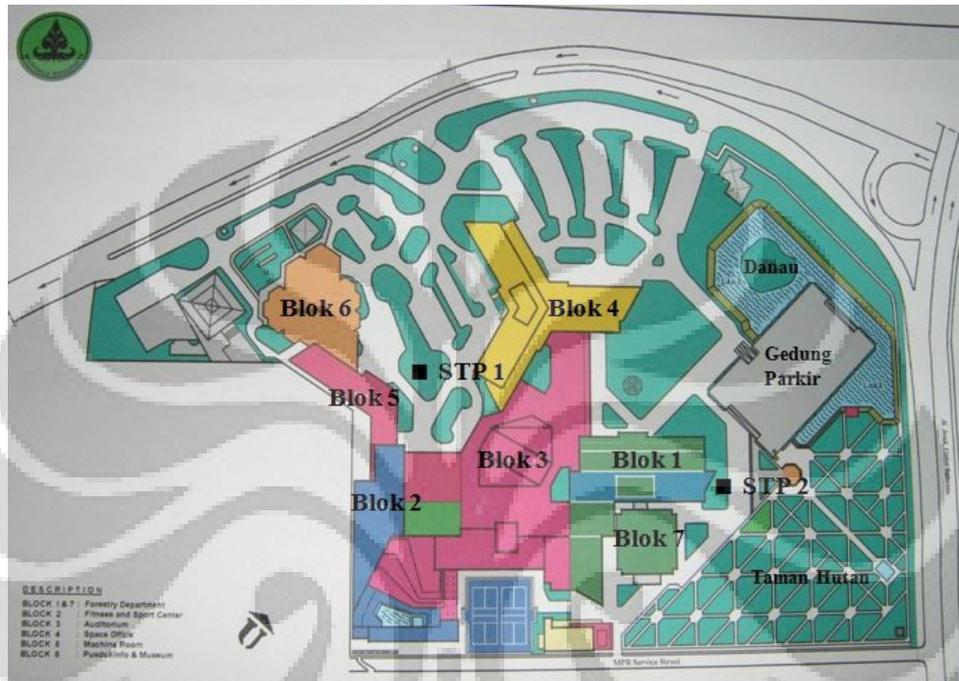
Sumber: Badan Pengelola Gedung Manggala Wanabakti

Tabel 4.3 Luas Ruangannya Lainnya

Area	Luas (m <sup>2</sup> )
R. Auditorium & Pameran	4.449
Rimbawan 1	2.430
Rimbawan 2	935
Rimbawan 3	1.027
Sonokeling	1.438

Sumber: Badan Pengelola Gedung Manggala Wanabakti

Dan berikut ini adalah skema blok-blok gedung, gedung parkir, danau, serta taman hutan pada area Gedung Perkantoran Manggala Wanabakti. Untuk denah blok-blok gedung selengkapnya dapat dilihat pada gambar denah di bagian lampiran dengan judul gambar: “Denah Lantai 1 Dan Gugusan Massa”.



Gambar 4.7 Denah Area Gedung Manggala Wanabakti  
(Tanpa Skala)

Sumber: Badan Pengelola Gedung Manggala Wanabakti

Tabel 4.4 Luasan Efektif Ruang Kantor  
Gedung Blok I

<b>BLOK I</b>		
Lantai	LUAS (m <sup>2</sup> )	
	Ruang Kantor	Keseluruhan Lantai
1	349	1692
2	587	1144
3	1303	2009
4	986	1856
5	1032	1415
6	1032	1415
7	1032	1415
8	1032	1415
9	1032	1415
10	1032	1415
11	1032	1415
12	1032	1415
13	1032	1415
14	876	1399
15	564	961
<b>TOTAL</b>	<b>13953</b>	21796

Tabel 4.5 Luasan Efektif Ruang Kantor  
Gedung Blok IV

<b>BLOK IV</b>		
Lantai	LUAS (m <sup>2</sup> )	
	Ruang Kantor	Keseluruhan Lantai
1	294,5	1747
2	1575	2569
3	1971	2680
4	2130	2844
5	2130	2844
6	2130	2844
7	2130	2844
8	2130	2844
9	1770	2855
10	427	1199
11	171	302
<b>TOTAL</b>	<b>16858,5</b>	25572

Tabel 4.6 Luasan Efektif Ruang Kantor  
Gedung Blok VII

<b>BLOK VII</b>		
Lantai	LUAS (m <sup>2</sup> )	
	Ruang Kantor	Keseluruhan Lantai
1	640	946
2	772	116
3	772	1099
4	922	1053
5	922	1053
6	922	1053
7	922	1053
8	922	1053
9	922	1053
10	922	1053
11	922	1053
12	922	1053
13	922	1053
14	922	1053
<b>TOTAL</b>	<b>12326</b>	13744

Sumber: Data Badan Pengelola Gedung Manggala Wanabakti

Tabel 4.7 Luas Area Peruntukkan  
Gedung Blok II Lantai 1 (1)

<b>BLOK II LANTAI 1</b>	
<b>Area Rimbawan I &amp; II</b>	
Peruntukkan	Luas (m <sup>2</sup> )
R. VIP & Office	111
Hall Information Selasar	667
Rimbawan I	768
Rimbawan II	501
R. Bar	60
Game Room	158
R. Toilet Rimbawan I	27
R. Toilet Hall	46
Gudang Auditorium	64
R. AHU (2 ruang)	82
Pantry Bar	6
Plaza Rimbawan	1251
Pantry Rimbawan	181
Gudang Auditorium	82
Gudang RT	51
Gudang Koperasi	51
Gudang Nelayan	116
Plaza Kolam Renang	693
R. Ganti	90
R. Mesin Kolam Renang	42
<b>TOTAL</b>	<b>5047</b>

Tabel 4.8 Luas Area Peruntukkan  
Gedung Blok II Lantai 1 (2)

<b>BLOK II LANTAI 1</b>	
<b>Area Sonokeling, Poliklinik, Koperasi</b>	
Peruntukkan	Luas (m <sup>2</sup> )
R. Sonokeling Besar	278
R. Sonokeling Kecil	108
Ante Room	76
Koperasi*	107
Lobby	395
Selasar	76
R. Toilet Sonokeling	52
R. Toilet Lab Rontgent	107
R. AHU & P.Listrik	21
Poliklinik*	356
R.Service	92
R.Gudang	116
Teras/Selasar	181
R.Kantor Koperasi*	14
Hall Lt.1	53
Hall Lt.2	56
Toilet	30
Gudang	34
Teras Luar	65
Tangga	5
Lapangan Squash	130
<b>TOTAL</b>	<b>2352</b>

Tabel 4.9 Luasan Area Peruntukkan  
Gedung Blok II Lantai 2

<b>BLOK II LANTAI 2</b>	
<b>Pusat Uji Kesehatan Manggala (Luas Keseluruhan: 1319 m<sup>2</sup>)</b>	
Peruntukkan	Luas (m <sup>2</sup> )
R. Laboratorium*	41
R.Periksa & Hall*	879
R. PABX & R. Tunggu*	107
<b>TOTAL</b>	<b>1027</b>
<b>Ruang Arsip &amp; Komputer (Luas Keseluruhan : 1264 m<sup>2</sup>)</b>	
Peruntukkan	Luas (m <sup>2</sup> )
R. Arsip*	362
R. Komputer*	322
R. Kantor*	376
<b>TOTAL</b>	<b>1060</b>

\*) lokasi ruang konsentrasi pegawai

Kuning: konsentrasi penggunaan ruangan  
sebagai ruang kantor

Hijau: konsentrasi penggunaan ruangan untuk  
aktivitas lain

Sumber: Data Badan Pengelola Gedung Manggala Wanabakti

Tabel 4.10 Luas Area  
Gedung Blok III Lantai 1

<b>BLOK III LANTAI 1</b>	
<b>Ruang Auditorium</b>	
<b>(Luas Keseluruhan: 4070 m<sup>2</sup>)</b>	
	Luas (m <sup>2</sup> )
Peruntukkan	
R. Auditorium	881
Selasar Auditorium	1148
Tangga	68
R. VIP	103
R. Exhibition	686
Teras Pintu 2	130
R. Toilet	107
Stage Auditorium	208
Gudang Bawah Stage	210
Keseluruhan Lantai Keramik	529
<b>TOTAL</b>	<b>4070</b>

\*) lokasi ruang konsentrasi pegawai

Kuning: konsentrasi penggunaan ruangan sebagai ruang kantor

Hijau: konsentrasi penggunaan ruangan untuk aktivitas lain

Tabel 4.11 Luas Area  
Gedung Blok III Lantai 2

<b>BLOK III LANTAI 2</b>	
<b>Ruang Auditorium</b>	
<b>(Luas Keseluruhan: 1451 m<sup>2</sup>)</b>	
	Luas (m <sup>2</sup> )
Peruntukkan	
Hall/Selasar	123
Balkon	234
Both Kantor & Selasar	68
R. VIP	169
Keseluruhan Lantai Keramik	354
<b>TOTAL</b>	<b>948</b>
<b>Ruang Fitness &amp; Rimbawan Lt.2</b>	
<b>(Luas Keseluruhan: 2890 m<sup>2</sup>)</b>	
	Luas (m <sup>2</sup> )
Peruntukkan	
Selasar Fitness	123
Salon*	47
Sauna & Massage	65
R. Gymnasium	129
R. Beban	128
R. Tamu & Kantor Fitness*	101
<b>TOTAL</b>	<b>593</b>

Tabel 4.12 Luasan Area  
Gedung Blok V

<b>BLOK V</b>	
<b>Lantai 1 (Ruang Mesin)</b>	
	Luas (m <sup>2</sup> )
Peruntukkan	
R. Mesin	585
R. Genset	102
R. Kontrol Tangga & Gudang	84
<b>TOTAL</b>	<b>771</b>
<b>Lantai 2 (Ruang Staff M/E)</b>	
	Luas (m <sup>2</sup> )
Peruntukkan	
R. Staf TP*	96
Selasar	42
R. Trafo	77
R. Panel TM	65
<b>TOTAL</b>	<b>280</b>

Tabel 4.13 Luasan Area  
Gedung Blok VI

<b>BLOK VI LANTAI 1</b>	
<b>Museum</b>	
<b>(Luas Keseluruhan: 1696 m<sup>2</sup>)</b>	
	Luas (m <sup>2</sup> )
Peruntukkan	
R. Kurator / Staf MPT*	80
Staf MPT*	73
<b>TOTAL</b>	<b>153</b>
<b>BLOK VI LANTAI 2</b>	
<b>Museum &amp; Perpustakaan</b>	
<b>(Luas Keseluruhan: 1866 m<sup>2</sup>)</b>	
	Luas (m <sup>2</sup> )
Peruntukkan	
R. Manager MPT*	76
R. Manager*	30
R. Perpustakaan*	560
R. Administrasi & Hall	202
R. Rapat	59
<b>TOTAL</b>	<b>927</b>

Sumber: Data Badan Pengelola Gedung Manggala Wanabakti

#### 4.2 Karakteristik Aktivitas & Nilai Penggunaan Ruang Di Dalam Gedung

Mayoritas aktivitas yang dilakukan di dalam Gedung Manggala Wanabakti merupakan aktivitas administrasi perkantoran. Dapat dilihat dari data luasan peruntukkan bangunan gedung bahwa  $\pm 56\%$  luas keseluruhan Gedung Manggala Wanabakti digunakan untuk ruang perkantoran. Dominasi ruang perkantoran di Gedung Manggala Wanabakti terdapat pada gedung Blok I, IV, dan VII, dengan persentase pemakaian ruang perkantoran adalah masing-masing secara berturut-turut; 64%, 66%, dan 70%. Gedung pada Blok I diperuntukkan sebagai Kantor Kementerian Kehutanan, pada Blok IV diperuntukkan sebagai area komersial perkantoran yang disewakan untuk kantor-kantor persero, bank, dan lain sebagainya, sedangkan untuk gedung Blok VII diperuntukkan sebagai kantor BUMN seperti Perum Perhutani, Inhutani I, dan II. Selanjutnya, untuk ruang-ruang perkantoran yang terdapat pada Blok II, III, V, dan VI memiliki nilai persentase yang lebih kecil yaitu secara berturut-turut; 26%, 2%, 9%, dan 23%.

Di gedung Blok II dan III terdapat ruang-ruang pertemuan, poliklinik, ruang koperasi, Pusat Unit Kesehatan Manggala (PUKM), restoran, ruang arsip, ruang komputer, serta ruang fitness. Kedua blok gedung ini hanya memiliki 2 lantai, dengan cakupan blok hingga area outdoor selatan gedung dekat dengan Jalan MPR Service. Mayoritas luasan ruang yang terdapat di kedua blok ini digunakan sebagai ruang pertemuan serta sarana olah raga, akan tetapi frekuensi penggunaan ruangnya sangat kecil. Selain itu, pada blok ini juga terdapat beberapa kantin, kafe, dan restoran dengan luasan ruang yang tidak terlalu besar.

Gedung Blok V merupakan gedung khusus untuk ruang mesin dan generator. Ruang mesin, generator, ruang kontrol berada pada lantai ke-1, sedangkan pada lantai ke-2 terdapat ruang trafo, panel, dan ruang staff. Dibandingkan dengan blok-blok gedung lainnya, luas ruang kantor di gedung ini sangat kecil, hanya untuk ruang para staff pegawai teknis pengelola gedung. Selanjutnya ialah gedung Blok VI, gedung ini diperuntukkan khusus sebagai Museum Kehutanan dan Pusat Dokumentasi Dan Informasi Manggala Wanabakti (perpustakaan). Pada lantai ke-1 mayoritas ruangan digunakan sebagai ruang display benda-benda museum, dan sisanya, sekitar 9% digunakan untuk ruang kantor. Pada lantai ke-2 mayoritas ruangan digunakan sebagai ruang

perpustakaan, dan dapat ditemui pula display foto-foto dokumentasi kehutanan di luar ruang perpustakaan, lalu sisanya masih terdapat ruang-ruang kantor.

Luasnya suatu ruang belum mencerminkan banyaknya manusia yang beraktivitas di dalam ruangan tersebut. Dalam konteks pengelolaan limbah cair suatu gedung, perlu diketahui lebih detil mengenai jumlah populasi manusia atau pegawai yang beraktivitas di dalam gedung, sehingga akan dapat dengan mudah mengetahui timbulan limbah cair yang dihasilkan dari aktivitas di dalam gedung tersebut. Nilai yang dapat merepresentasikan keadaan ini adalah dengan menggunakan nilai kepadatan ruang atau nilai luas penggunaan ruang kantor per orang (Nilai Luas Penggunaan Ruang; NLPR). Kedua nilai tersebut memiliki prinsip yang sama hanya berkebalikan dalam angkanya, misal suatu gedung memiliki kepadatan ruang  $0,25 \text{ orang/m}^2$ , maka NLPR-nya ialah  $4 \text{ m}^2/\text{orang}$ . Untuk selanjutnya, NLPR akan digunakan untuk menghitung populasi dalam gedung. Di Gedung Manggala Wanabakti, NLPR pada masing-masing blok gedung tidak seluruhnya sama. Saat ini, untuk gedung Blok I yang merupakan gedung khusus kantor Kementerian Kehutanan memiliki NLPR pegawai tertinggi, yaitu  $\pm 4 \text{ m}^2/\text{orang}$ . Sedangkan untuk gedung Blok IV yang merupakan gedung perkantoran untuk area komersial, NLPR-nya ialah sekitar  $\pm 5 \text{ m}^2/\text{orang}$ . Pada masa awal pembangunan, keseluruhan blok Gedung Manggala Wanabakti ini didesain dengan NLPR  $8 \text{ m}^2/\text{orang}$ . Namun, seiring pertambahan waktu, dengan peningkatan pegawai yang bekerja di Gedung Manggala Wanabakti, maka NLPR gedung ini menurun. Dapat dilihat selengkapnya pada bagian lampiran untuk perubahan NLPR masing-masing blok gedung mulai dari tahun 1983 hingga 2010. Perubahan perubahan NLPR dari tahun ke tahun dihitung berdasarkan estimasi antara populasi pegawai di awal dan akhir (kondisi terkini).

Bila dihitung dari frekuensi penggunaan ruangan yang rendah dan NLPR gedung yang besar, maka timbulan limbah cair yang dihasilkan akan kecil. Khusus untuk gedung pada Blok V, yaitu gedung khusus untuk ruang mesin, limbah yang dihasilkan pada gedung ini tidak dialirkan ke instalasi pengolahan limbah, melainkan dialirkan melalui saluran drainase menuju ke danau buatan.

Tabel 4.14 Nilai Luas Penggunaan Ruang Kantor  
Gedung Manggala Wanabakti Tahun 2010

Gedung	NLPR (m <sup>2</sup> /orang)
Blok I	3
Blok II	15
Blok III	5
Blok IV	5
Blok V	4
Blok VI	30
Blok VII	4

Sumber: Data Perkiraan

Hal menarik yang didapati pada Gedung Manggala Wanabakti adalah tingginya penggunaan ruang untuk acara-acara pertemuan. Ruangan yang biasa digunakan untuk acara pertemuan antara lain ialah Ruang Auditorium, Rimbawan, dan Sonokeling, dan umumnya ruang-ruang tersebut digunakan pada hari Sabtu & Minggu (diluar jam kerja perkantoran). Akibat tingginya penggunaan ruang tersebut, maka yang perlu diperhatikan ialah lonjakan/peningkatan beban organik limbah cair yang masuk ke instalasi pengolahan, terutama pada waktu-waktu penggunaan ruang meningkat.

Beberapa area komersial yang digunakan pada Gedung Manggala Wanabakti, khususnya seperti restoran, memiliki karakteristik air limbah tertentu, yaitu tingginya kadar minyak dan lemak, sehingga harus diolah terlebih dahulu dalam unit *grease trap* sebelum dialirkan masuk ke STP agar tidak membebani STP. Umumnya beban limbah cair yang dihasilkan oleh restoran-restoran di Blok II & III tidak terlalu besar. Namun, ada sebuah kafe di Blok II yang memiliki pengelolaan limbah cair tersendiri dengan memasang *grease trap* sebelum dibuang ke saluran pengumpul air limbah.

Di gedung Blok IV lantai ke-1 terdapat sebuah restoran besar (Restoran Nelayan) yang memiliki *grease trap* tersendiri untuk mengolah limbah cair buangnya agar kadar minyak dan lemak yang dihasilkan berkurang. Gambar teknik yang lebih detil untuk pengolahan *grease trap* di restoran ini dapat dilihat pada lampiran dengan nama gambar "Oil And *Grease trap* Restoran Nelayan". Limbah cair dari restoran ini memiliki kandungan organik yang cukup tinggi karena limbahnya tersebut juga dihasilkan dari pencucian ikan & ayam, selain

juga dihasilkan dari sisa pembuangan makanan dan masakan. Pada awalnya, hasil pengolahan air limbah dari *grease trap* ini dialirkan ke STP terdekat (STP 1). Namun, sekitar tahun 1994 pernah terjadi permasalahan pada pengolahan limbah di STP karena beban organik influent air limbah tinggi dari saluran efluent *grease trap* akibat frekuensi pembersihan *grease trap* yang rendah. Sejak kejadian tersebut, hasil outlet *grease trap* ini dialirkan langsung ke danau buatan menuju saluran drainase (bukan ke STP). Pada dasarnya pengaliran air limbah hasil olahan dari *grease trap* menuju ke STP 1 tidak masalah untuk dilakukan, akan tetapi frekuensi pembersihan minyak & lemak di *grease trap* harus rutin dilakukan, serta kinerja pengolahan di STP yang juga ditingkatkan. Saat ini frekuensi pembersihan *grease trap* ialah 1 kali per harinya.



Gambar 4.8 *Grease trap* Restoran Nelayan

Sumber: Hasil Dokumentasi

Penggunaan *grease trap* umum diterapkan pada aktivitas-aktivitas yang menghasilkan minyak dan lemak dengan kadar yang tinggi sebagai langkah pendahuluan pengolahan limbah sebelum masuk saluran pengumpul air limbah. Pengelola Gedung Manggala Wanabakti cukup ketat untuk mengatur para pengguna gedung yang memakai ruang untuk kepentingan restoran agar memerhatikan pengelolaan limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan yang mereka lakukan. Hal tersebut penting diperhatikan untuk menjaga agar air limbah tidak terlalu tinggi membebani STP, juga untuk menjaga agar air danau tidak tercemar dengan limbah organik yang berlebihan.

### 4.3 Debit Timbulan Air Limbah

Debit timbulan air limbah penting untuk diketahui untuk menentukan besar-kecilnya kapasitas hidrolis dari pengolahan limbah yang ada di STP serta volume limbah total yang masuk ke danau buatan setiap harinya. Khusus untuk aktivitas kegiatan di dalam gedung, debit timbulan air limbah yang dihasilkan tidak selalu konstan. Besar atau kecilnya debit ini ditentukan oleh aktivitas yang terjadi di dalam gedung itu sendiri. Secara umum, Gedung Manggala Wanabakti efektif beroperasi pada hari Senin-Jumat pada pukul 07.30–17.00, dan pada rentang waktu tersebut merupakan hari-hari aktif perkantoran, yaitu saat banyak pegawai datang ke gedung untuk bekerja.

Pada rentang jam kerja, debit timbulan air limbah selalu berfluktuasi (tidak selalu konstan) tergantung pada intensitas pemakaian air bersih. Berdasarkan observasi aliran limbah masuk yang dilakukan pada titik inlet limbah di instalasi pengolahan limbah (dilakukan pada 1 Desember 2010), terdapat 3 waktu saat debit air limbah meningkat, yaitu pada pukul 11:45, 13:50, dan 15:15. Waktu-waktu tersebut merupakan saat menjelang istirahat siang, setelah istirahat siang, dan pada sore hari menjelang waktu kerja kantor selesai. Umumnya pada waktu-waktu tersebut intensitas penggunaan toilet dan washtafel 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, atau buang air. Dan pada istirahat siang kebanyakan pegawai kantor tidak berada di dalam ruang kantor, tetapi keluar ruangan untuk istirahat siang. Maka dari itu, debit air limbah yang teramati besar ialah pada jam setelah istirahat siang. Selanjutnya pada sore hari merupakan waktu jam pulang kantor dan sholat ashar, sehingga air bersih banyak digunakan untuk berwudhu & cuci tangan. Setelah jam perkantoran selesai (rata-rata pada jam 16.30-17.00), aktivitas di Gedung Manggala Wanabakti mulai menurun karena sudah banyak pegawai dan pengguna gedung lainnya yang pulang, maka itu kegiatan perkantoran rata-rata sudah tidak aktif terlihat. Akan tetapi, aktivitas lainnya seperti restoran dan kafe masih aktif beroperasi sampai dengan pukul 22.00. Selanjutnya, pada hari Sabtu-Minggu Gedung Manggala Wanabakti tetap beroperasi, tetapi tidak untuk aktivitas perkantoran, melainkan untuk acara-acara

tertentu yang bersifat eventual. Acara-acara eventual tersebut umumnya menggunakan ruang-ruang pertemuan seperti Ruang Auditorium, Rimbawan I, Rimbawan II, dan Sonokeling.

Ada berbagai macam cara yang dapat digunakan untuk menghitung perkiraan debit timbulan air limbah pada aktivitas di gedung. Diantara cara-cara yang digunakan ialah melalui perhitungan debit pemakaian air bersih, perhitungan jumlah populasi manusia di dalam gedung dengan mengolah data luasan gedung efektif dengan NLPR gedung, perhitungan jumlah pemakaian alat-alat plambing yang diolah dengan standar debit pemakaian air pada alat-alat plambing, serta dengan perhitungan secara langsung debit air limbah yang masuk di inlet IPLC.

#### 4.3.1 Perhitungan Berdasarkan Pemakaian Air Bersih

Pemakaian air bersih yang digunakan di Gedung Manggala Wanabakti ialah mayoritas bersumber dari jaringan air bersih PAM dari Instalasi PAM Pejompongan. Namun, saat ini di beberapa blok gedung juga terdapat pompa air tanah (*jet pump*) untuk mengambil sumber air bersih tambahan. Pompa-pompa tersebut tersebar sebanyak  $\pm 14$  titik di seluruh area gedung. Air bersih yang diambil dari air tanah menggunakan pompa tersebut hanya digunakan untuk penyiraman taman dan keperluan kebersihan STP, sedangkan air bersih yang khusus digunakan untuk keperluan toilet di blok-blok gedung menggunakan air PAM. Selain digunakan untuk keperluan toilet, sumber air bersih air PAM juga digunakan untuk pendingin udara mesin AC (*Air Conditioning*) sentral. Volume per harinya yang digunakan untuk pendinginan udara mesin AC sentral ialah  $\pm 20$  m<sup>3</sup> (volume air dari suplai air bersih PAM tersebut cukup besar bila hanya digunakan untuk pendingin udara mesin AC, maka ada baiknya bila digunakan dari *reuse* air limbah).

Data debit penggunaan air bersih dari air baku PAM dapat diukur menggunakan meteran PAM yang berada di gedung Blok V dan Blok VII. Adapun meteran PAM yang terletak di gedung Blok V digunakan untuk mengukur debit aliran PAM yang masuk ke gedung Blok I, II, III, IV, dan VI (gedung Blok V sendiri tidak memiliki alat plambing untuk pengaliran air bersih karena gedung ini khusus digunakan sebagai ruang mesin, tetapi untuk

perhitungan debit timbulan limbah tetap akan dihitung populasi manusia yang beraktivitas di dalamnya). Sedangkan meteran PAM yang terletak di gedung Blok VII hanya mengukur debit aliran PAM masuk ke gedung Blok VII. Data debit penggunaan air bersih yang tercatat pada meteran PAM merupakan data akumulasi penggunaan air bersih selama 1 hari (24 jam). Berikut ini adalah data debit pemakaian air PAM yang diambil melalui meteran PAM di Blok V dan VII pada bulan Agustus 2010.

Dari data pemakaian air PAM yang ditunjukkan pada halaman selanjutnya, maka debit penggunaan air bersih rata-rata gabungan pada Blok I, II, III, IV, dan VI (yang terukur pada meteran PAM di Blok V) adalah  $\pm 437 \text{ m}^3/\text{hari}$ , dengan rentang debit timbulan limbah cair ialah  $250\text{--}580 \text{ m}^3/\text{hari}$ , sedangkan debit pemakaian air bersih rata-rata pada Blok VII adalah  $\pm 34 \text{ m}^3/\text{hari}$ , dengan rentang debit pemakaian air bersih ialah  $0\text{--}70 \text{ m}^3/\text{hari}$ . Maka dari itu, bila dijumlahkan debit rata-rata pemakaian air bersih dari kedua meteran tersebut ialah  $\pm 471 \text{ m}^3/\text{hari}$ , nilai ini mencerminkan total keseluruhan air bersih dari PAM yang digunakan pada Gedung Perkantoran Manggala Wanabakti, termasuk yang digunakan untuk air pendingin mesin AC sentral, air yang digunakan untuk kebersihan pantry, dan kegiatan cuci di dapur. Bila dihitung debit timbulan air limbah yang dihasilkan hanya pada gedung Blok I, II, III, IV, dan VI, dengan mengurangi debit penggunaan air bersih untuk air pendingin AC sentral sebesar  $20 \text{ m}^3/\text{hari}$  dan debit air bersih yang digunakan untuk pantry (langsung dialirkan ke saluran drainase) sebesar  $10 \text{ m}^3/\text{hari}$ , maka didapatkan besar debit air limbah (masuk ke STP) adalah  **$\pm 407 \text{ m}^3/\text{hari}$** .

Tabel 4.15. Catatan Meteran PAM Di Blok V

Tanggal	Petunjuk Meter	Debit (m <sup>3</sup> /hari)	Tanggal	Petunjuk Meter	Debit (m <sup>3</sup> /hari)
1	656525	-	18	664299	323
2	656848	323	19	664805	506
3	657417	569	20	665281	476
4	657995	578	21	665723	442
5	658536	541	22	666083	360
6	659112	576	23	666371	288
7	659619	507	24	666865	494
8	660031	412	25	667252	387
9	660376	345	26	667626	374
10	660871	495	27	668077	451
11	661370	499	28	668516	439
12	661756	386	29	668845	329
13	662148	392	30	669155	310
14	662722	574	31	669629	474
15	663220	498	<b>RATA-RATA</b>		<b>436,8</b>
16	663524	304			
17	663976	452			

Sumber: Badan Pengelola Gedung Manggala Wanabakti

Tabel 4.16. Catatan Meteran PAM Blok VII

Tanggal	Petunjuk Meter	Debit (m <sup>3</sup> /hari)	Tanggal	Petunjuk Meter	Debit (m <sup>3</sup> /hari)
1	88774	-	18	89382	5
2	88774	0	19	89421	39
3	88843	69	20	89454	33
4	88902	59	21	89496	42
5	88954	52	22	89508	12
6	89002	48	23	89517	9
7	89044	42	24	89543	26
8	89078	34	25	89584	41
9	89078	0	26	89625	41
10	89147	69	27	89665	40
11	89201	54	28	89704	39
12	89238	37	29	89718	14
13	89284	46	30	89729	11
14	89320	36	31	89774	45
15	89332	12	<b>RATA-RATA</b>		<b>33,33</b>
16	89333	1			
17	89377	44			

Sumber: Badan Pengelola Gedung Manggala Wanabakti

#### 4.3.2 Perhitungan Berdasarkan Luasan Efektif Lantai Bangunan

Perhitungan debit timbulan air limbah selanjutnya ialah melalui pengolahan data luasan efektif lantai bangunan gedung yang telah dijabarkan sebelumnya dengan data nilai penggunaan luasan bangunan per-orang (NLPR gedung). Hasil pengolahan kedua data tersebut selanjutnya dikalikan dengan besaran pemakaian air untuk tiap pegawai per harinya.

Tabel 4.17 Jumlah Populasi Manusia Pada Masing-Masing Blok Gedung

Gedung	Luasan Efektif (m <sup>2</sup> )	NLPR gedung (m <sup>2</sup> /orang)	Jumlah Populasi (orang)
Blok I	13.953	3	4.651
Blok II	2.564	15	171
Blok III	148	5	30
Blok IV	16.858,5	5	3.372
Blok V	96	4	24
Blok VI	819	30	27
Blok VII	12.326	4	3.082
Total Populasi			11.357

Sumber: Hasil Olahan

Luasan efektif mencakup seluruh ruang-ruang pada setiap lantai gedung yang terdapat area konsentrasi pegawai di dalamnya. Sebagai contoh area konsentrasi pegawai ialah pada ruangan kantor, koperasi, ruang kantor koperasi, beberapa ruang ruang di Pusat Uji Kesehatan Manggala (PUKM), seperti ruang laboratorium, ruang periksa, ruang PABX dan ruang tunggu, serta sebagian pada area ruang arsip & komputer seperti ruang arsip, ruang kantor, dan ruang komputer. Begitu pula dengan ruang salon, ruang tamu pusat kebugaran (fitness) dan kantor pusat kebugaran, ruang staf pegawai teknis (pada Blok V), serta ruang kurator, ruang staf pegawai museum, ruang manajer museum & perpustakaan, serta ruang perpustakaan.

Dari perhitungan didapatkan bahwa jumlah populasi manusia di seluruh Gedung Manggala Wanabakti ialah 11.357 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 Perkantoran Manggala Wanabakti ialah 567.805 Liter/hari atau **568,802**

$\text{m}^3/\text{hari}$ . Khusus untuk gedung pada Blok I, II, III, IV, V, dan VI, debit pemakaian air minimum yang digunakan berdasarkan populasi manusianya, yaitu sebanyak 8.275 orang adalah **413,727  $\text{m}^3/\text{hari}$** . Sedangkan untuk gedung Blok VII, debit pemakaian air bersih yang digunakan ialah **154,075  $\text{m}^3/\text{hari}$** , yang dihitung dari 3.082 orang yang beraktivitas di dalam gedung tersebut. Dengan menggunakan logika bahwa seluruh air bersih yang digunakan oleh pegawai di dalam gedung dari alat-alat plambing seperti *urinoir*, kloset, wastafel, keran dinding, *shower*, dan cucian piring dialirkan seluruhnya ke saluran pembuangan air kotor, maka nilai debit yang didapat tersebut juga merepresentasikan nilai debit air limbah cair yang selanjutnya mengalir menuju ke STP .

#### 4.3.3 Perhitungan Berdasarkan Pemakaian Alat-Alat Plambing

Selanjutnya, perhitungan debit timbulan air limbah dapat dihitung melalui pengolahan data jumlah pemakaian alat-alat plambing dengan standar debit pemakaian air pada alat-alat plambing. Adapun alat-alat plambing yang telah didata ialah hanya yang terdapat pada gedung Blok I, II, III, IV, dan VI. Sedangkan untuk gedung Blok V yang merupakan gedung ruang mesin, tidak terdapat alat-alat plambing di dalamnya.

Tabel 4.18 Perhitungan Debit Air Limbah Dari Alat-Alat Plambing

Alat Plambing	Jumlah Total (Unit)	V Pemakaian Air 1X (Liter)	Frekuensi Per Jam	Q (L/jam)
<i>Urinoir</i>	144	5	20	14.400
Closet	174	15	12	31.320
Wastafel	165	3	20	9.900
<i>Shower</i>	16	24	3	1.152
Keran Dinding	176	10	12	21.120
Cucian Piring	16	25	12	4.800

Sumber: Hasil Olahan

Tabel 4.19 Debit Air Limbah Setelah Dikali Faktor Pemakaian Serentak

Alat Plambing	Debit Penggunaan Serentak (L/jam)	Faktor Pemakaian Serentak	Debit (L/jam)
<i>Urinoir</i> , Kloset, Wastafel, & Keran Dinding	76.740	33%	25.324,2
<i>Shower</i>	1.152	45%	518,4
Cucian Piring	4.800	45%	2.160

Sumber: Hasil Olahan

Maka dari itu, total debit air limbah keseluruhan adalah: 28.002,6 Liter/jam. Dengan jangka waktu pemakaian air rata-rata sehari untuk jenis gedung perkantoran ialah selama 8 jam/hari, maka debit air limbah yang didapatkan adalah **224,02 m<sup>3</sup>/hari**. Data jumlah alat-alat plambing yang berada pada gedung Blok I, II, III, IV, dan VI selengkapnya dapat dilihat pada halaman selanjutnya.

Tabel 4.20 Alat-Alat Plambing Di Gedung Blok I (15 lantai)

Alat Plambing	Jumlah Unit Per Lantai	Total Unit
<i>Urinoir</i>	4	60
Closet	5	75
Wastafel	5	75
<i>Shower</i>	10	150
Keran Dinding	5	75

Tabel 4.21 Alat-Alat Plambing Di Gedung Blok IV (9 lantai)

Alat Plambing	Jumlah Unit Per Lantai	Total Unit
<i>Urinoir</i>	3	27
Closet	4	36
Wastafel	4	36
Keran Dinding	4	36
Cucian Piring	*)	9

\*) hanya terdapat di beberapa lantai gedung

Tabel 4.22 Alat-Alat Plambing Di Gedung Blok VI Lantai I

Alat Plumbing	Jumlah Unit
<i>Urinoir</i>	10
Closet	10
Wastafel	10
Keran Dinding	10
Cucian Piring	2

Tabel 4.23 Alat-Alat Plambing Di Gedung Blok VI Lantai II

Alat Plumbing	Jumlah Unit
<i>Urinoir</i>	5
Closet	5
Wastafel	5
Keran Dinding	5
Cucian Piring	2

Sumber: Badan Pengelola Gedung Mangala Wanabakti

Tabel 4.24 Alat-Alat Plambing  
Di Gedung Blok II & III Lantai I

Area Alat Plambing	Gedung	Kolam Renang	Ruang Sonokeling	VIP Room	Ruang Voyer
<i>Urinoir</i>	5	3	5	2	10
Closet	8	2	8	2	10
Wastafel	4	2	5	4	8
<i>Shower</i>	-	8	-	-	-
Keran Dinding	8	2	8	2	10
Cucian Piring	-	1	-	1	-

Sumber: Badan Pengelola Gedung Manggala Wanabakti

Tabel 4.25 Alat-Alat Plambing  
Di Gedung Blok II & III Lantai II

Area Alat Plambing	Fitness Center	Ruang Loker	Toilet
<i>Urinoir</i>	4	5	6
Closet	6	6	8
Wastafel	6	6	4
<i>Shower</i>	8	6	-
Keran Dinding	6	6	8
Cucian Piring	1	-	-

Sumber: Badan Pengelola Gedung Manggala Wanabakti

#### 4.3.4 Perhitungan Langsung Pada Saluran Inlet STP

Cara terakhir yang digunakan untuk menghitung debit timbulan air limbah gedung ialah dengan pengukuran langsung debit limbah di titik inlet instalasi pengolahan air limbah. Berikut ini adalah data pengukuran debit influent air limbah yang berhasil dicatat menggunakan wadah/ember dengan volume sebesar 5 liter, pada tanggal 1 Desember 2010 dalam waktu jam kerja, yaitu 09:50–16:30.

Tabel 4.26 Pengukuran Debit Inlet Limbah STP 1

Pukul	Waktu Pengisian (detik)			$\bar{T}$	Q	
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>		(L/s)	(m <sup>3</sup> /day)
09:50	01.36	01.85	01.54	01.58	3.16	<b>273.42</b>
10:10	02.36	02.43	02.62	02.47	2.02	<b>174.90</b>
10:30	01.87	02.41	02.20	02.29	2.18	<b>188.65</b>
10:45	01.44	01.48	01.51	01.47	3.40	<b>293.88</b>
11:05	02.12	02.17	02.15	02.14	2.34	<b>201.87</b>
11:30	02.11	02.17	02.04	02.10	2.38	<b>205.71</b>
11:45	00.91	01.19	00.76	01.22	4.10	<b>354.10</b>
12:00	03.10	03.42	03.53	03.53	1.42	<b>122.38</b>
13:30	01.49	02.12	02.33	02.11	2.37	<b>204.74</b>
13:50	01.69	01.46	01.22	01.45	3.45	<b>297.93</b>
14:10	02.17	02.07	02.11	02.11	2.37	<b>204.74</b>
14:30	01.73	01.62	01.58	02.04	2.45	<b>211.76</b>
14:45	02.81	02.87	02.73	02.80	1.79	<b>154.29</b>
15:00	02.44	02.07	03.05	02.38	2.10	<b>181.51</b>
15:15	01.18	01.26	01.08	01.17	4.27	<b>369.23</b>
15:30	01.78	01.21	01.54	01.51	3.31	<b>286.09</b>
15:45	02.77	02.93	02.66	03.18	1.57	<b>135.85</b>
16:00	01.28	01.28	01.39	01.31	3.82	<b>329.77</b>
16:15	01.51	01.80	02.07	02.06	2.43	<b>209.71</b>
16:30	01.61	01.89	02.38	02.22	2.25	<b>194.59</b>

Sumber: Hasil Olahan



Gambar 4.9 Pengukuran Debit Air Limbah Di Inlet STP 1

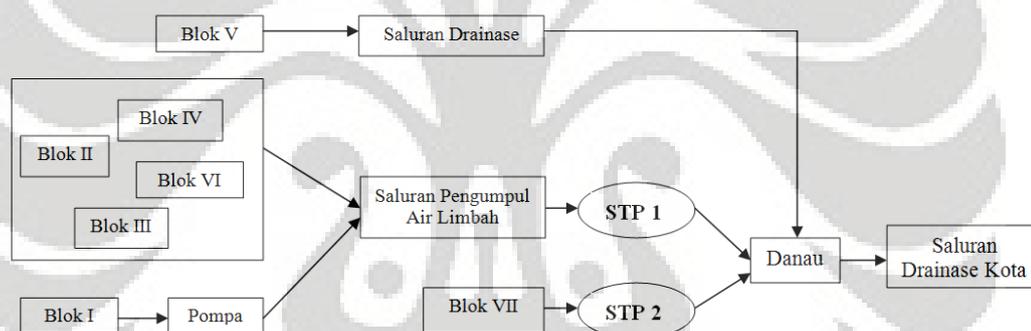
Sumber: Hasil Dokumentasi

Dari pengukuran debit yang telah dilakukan antara pukul 09:50–16:30, didapatkan rata-rata debit air limbah di inlet STP adalah **229,76 m<sup>3</sup>/hari**, dengan debit maksimum limbah adalah 369,23 m<sup>3</sup>/hari dan debit minimum adalah 122,38 m<sup>3</sup>/hari.

#### 4.4 STP (*Sewage Treatment Plant*)

Istilah STP (*Sewage Treatment Plant*), merupakan kata lain yang sering digunakan di lapangan untuk menyebut Instalasi Pengolahan Limbah Cair (IPLC). Selanjutnya, sebutan STP akan banyak digunakan sebagai istilah lain untuk IPLC pada laporan ini. Terdapat 2 unit STP yang beroperasi di Gedung Manggala Wanabakti, yaitu STP 1 & 2. STP 1 merupakan STP lama yang berfungsi untuk mengolah air limbah yang dihasilkan dari gedung-gedung blok lama, antara lain dari Blok I, II, III, IV, dan VI. Khusus untuk gedung Blok V (termasuk juga dalam gedung blok lama) air limbah yang dihasilkan tidak disalurkan ke STP, tetapi dialirkan langsung ke danau melalui saluran drainase. Hal tersebut disebabkan pada gedung Blok V tidak terdapat toilet, sehingga tidak dapat ditemukan pula alat-alat plambing seperti kloset, *urinoir*, *shower*, wastafel, dan cucian piring sebagaimana yang terdapat pada blok-blok gedung lainnya. Air limbah yang dihasilkan dari gedung ini hanya bersumber dari limpasan air hujan dari atap gedung. Selanjutnya, untuk STP 2, merupakan STP baru yang dibangun untuk mengolah air limbah yang khusus dihasilkan dari gedung Blok VII yang merupakan gedung yang baru dibangun.

Sistem pengumpulan air limbah pada gedung ini menggunakan sistem plambing pembuangan air. Untuk air limbah yang dihasilkan dari gedung yang relatif berjarak jauh dari STP, yaitu gedung Blok I, maka dioperasikan pompa untuk menaikkan *head* air limbah agar mengalir sampai ke STP, sedangkan untuk air limbah yang dihasilkan dari blok-blok gedung yang relatif berjarak lebih dekat ke STP, maka air limbah mengalir secara gravitasi di dalam pipa yang didesain dengan kemiringan tertentu. Bak-bak pengumpul limbah (sampit) juga didesain pada beberapa titik-titik percabangan pipa air limbah di luar gedung untuk menyatukan dan mengarahkan aliran air limbah dari berbagai lokasi agar masuk ke STP. Beberapa *manhole* juga difungsikan untuk mengontrol aliran air limbah untuk mencegah atau menangani terjadinya penyumbatan-penyumbatan di dalam pipa pembuangan air limbah.



Gambar 4.10 Skema Aliran Air Limbah Domestik Di Gedung Manggala Wanabakti

Sumber: Hasil Olahan

Dua STP yang terdapat di Gedung Manggala Wanabakti memiliki nilai debit air limbah yang jauh berbeda. STP 1 memiliki debit timbulan limbah yang lebih besar, yaitu  $\pm 200\text{--}500\text{ m}^3/\text{hari}$ , sedangkan STP 2 memiliki debit limbah  $\pm \leq 70\text{ m}^3/\text{hari}$ . Oleh karena itu, perbedaan nilai debit yang terdapat pada kedua STP tersebut mengakibatkan kapasitas dan desain pengolahan STP yang juga berbeda. Kedua STP ini sama-sama menggunakan proses lumpur aktif (*activated sludge*) dengan konfigurasi secara berturut-turut, yaitu: unit bar screen, unit aerasi,

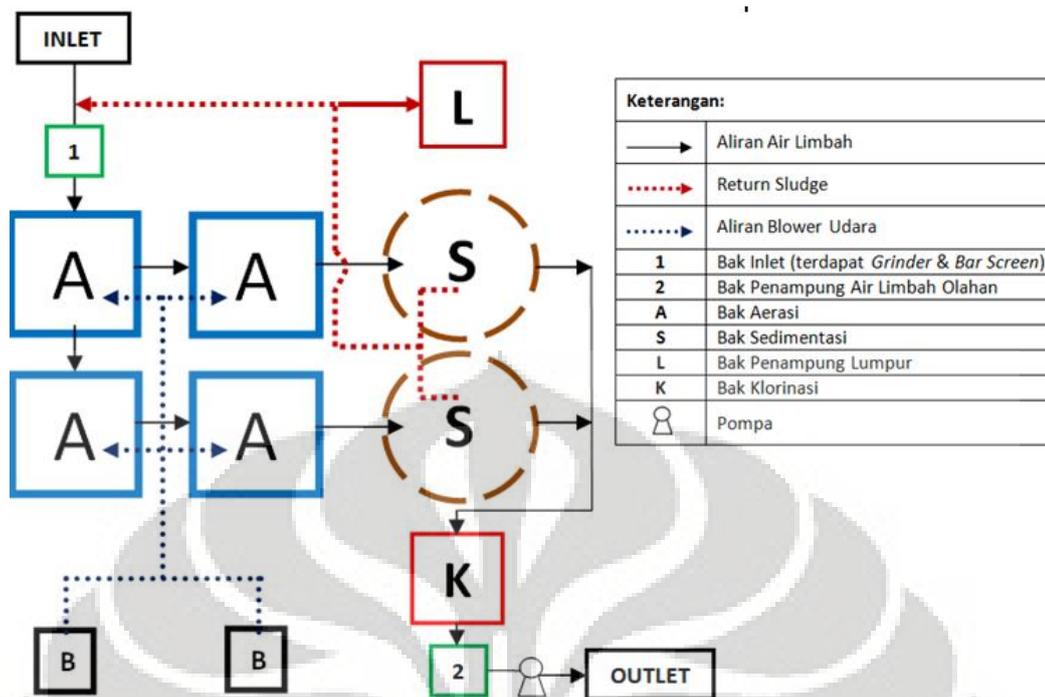
sedimentasi, dan klorinasi, dan dilengkapi pula dengan pompa, blower udara, pipa & pompa untuk *return sludge*, dan alat pencacah pada *pre-treatment*, seperti *grinder*. Khusus untuk *grinder* hanya ditemukan pada STP 1, sedangkan pada STP 2 hanya terdapat bar screen dengan ukuran kecil.

Lokasi STP 1 & 2 telah ditampilkan pada gambar skema Gedung Manggala Wanabakti pada sub-bab sebelumnya. Letak dari kedua STP berada di ruangan khusus STP di bawah permukaan tanah pada kedalaman  $\pm 1,90$  meter. Karena letaknya tersebut, maka di dalam kedua STP dioperasikan kipas ventilasi (*ventilator fan*) yang bekerja 24 jam untuk mengalirkan udara bersih ke dalam ruang STP, sehingga ruang STP tidak berbau. Untuk STP 1 terdapat 3 buah kipas ventilasi, 2 diantaranya mengalirkan udara bersih masuk ke ruang STP, sedangkan yang lain menyedot udara dari dalam ruang STP ke luar. Berikut ini adalah diagram alir pengolahan air limbah pada STP 1.



Gambar 4.11 Ruang STP 1

Sumber: Hasil Dokumentasi



Gambar 4.12 Diagram Alir STP 1

Sumber: Badan Pengelola Gedung Manggala Wanabakti (telah diolah kembali)

Walaupun menggunakan unit pengolahan yang sama, akan tetapi perbedaan kapasitas diantara kedua STP mengakibatkan perbedaan dalam desain unit-unit yang digunakan seperti ukuran dan jumlah bak aerasi dan sedimentasi, besar debit udara untuk bak aerasi, dan lainnya. Untuk selanjutnya, penelitian hanya fokus pada STP 1 yang memiliki kapasitas pengolahan paling besar.

Diagram alir pengolahan air limbah yang ditunjukkan pada gambar 4.12, merupakan diagram alir desain awal sejak STP dibangun. Namun, kondisi di lapangan saat ini sangat jauh berbeda dengan desain awal STP tersebut disebabkan adanya kerusakan alat-alat, serta tidak berfungsinya beberapa unit pengolahan sebagaimana mestinya. Berikut ini adalah penjelasan lebih rinci mengenai kondisi unit-unit pengolahan limbah pada STP 1 saat ini, antara lain ialah:

#### 4.4.1 Unit Pra-Pengolahan

Unit pra-pengolahan dapat ditemui dekat dengan saluran masuk air limbah (inlet) STP, dan dapat dilihat pada diagram alir gambar 4.12 yang ditandai dengan angka “1”. Untuk gambar teknik yang lebih detil dapat dilihat pada lampiran dengan nama gambar: “Detil Penempatan Grinder Dan Bak Pembagi Air”. Pada unit ini dapat ditemui *bar screen* untuk menahan limbah padatan agar tidak masuk ke STP, sehingga tidak mengganggu proses pengolahan yang berlangsung di dalam unit-unit pengolah limbah selanjutnya. *Bar screen* ini masih berfungsi dengan baik dan dibersihkan secara rutin dari sampah dan limbah kotoran manusia (feses) yang menyangkut diantara sela-selanya. Material yang digunakan untuk *bar screen* ini adalah besi yang telah dilapisi cat, sehingga tahan terhadap karat. Panjang alat ini adalah 50 cm, ketinggian 25 cm, dengan kemiringan 60°, dan ketebalan 4 cm. Alat ini memiliki  $\pm 23$  *screen* dan celah dengan ketebalan masing-masing *screen* adalah 0,7 cm, dan lebar celah sebesar 1,5 cm. Bagian bawah pijakan alat ini berada 50 cm lebih tinggi dari dasar saluran inlet air limbah, sehingga kotoran akan tersaring bila permukaan air di inlet limbah berada lebih atau sama dengan 50 cm diatas saluran inlet.



Gambar 4.13 Unit Bar Screen

Sumber: Hasil Dokumentasi

Selain *bar screen* dapat ditemui pula sebuah *grinder* yang berfungsi sebagai alat pencacah limbah, sehingga limbah berbentuk padatan yang masuk ke unit pengolah limbah selanjutnya dapat tercampur sempurna di dalam air limbah. Bila

berfungsi, *grinder* ini akan mencacah halus secara langsung limbah-limbah padatan yang masuk mengikuti aliran masuk limbah. Akan tetapi, *grinder* ini sama sekali tidak berfungsi karena rusak. Kerusakan pada *grinder* menyebabkan kotoran yang masuk ke STP tidak hancur. Penyebab kerusakan ini adalah karena umur alat yang sudah melewati masa *life time*-nya, dan belum pernah diganti sejak awal dioperasikan. Padahal, banyak sekali limbah padatan yang perlu untuk dihancurkan sebelum masuk ke bak aerasi, antara lain ialah kotoran manusia (feses), pembalut wanita, puntung rokok, tisu, dan kondom. Namun, dengan kondisi grinder yang rusak limbah-limbah padatan tersebut mengalir terus masuk ke bak aerasi. Pada dasarnya, limbah-limbah padatan anorganik tidak boleh masuk ke dalam unit pengolahan karena tidak terdegradasi secara biologi dan dapat menghambat kinerja unit pengolahan. Saat ini, limbah-limbah anorganik yang telah disebutkan sebelumnya tersebut dibersihkan secara manual setiap harinya (rutin) oleh petugas pembersih STP.



Gambar 4.14 *Grinder*  
(Alat Pencacah Limbah Padatan)

Sumber: Hasil Dokumentasi

#### 4.4.2 Unit Aerasi

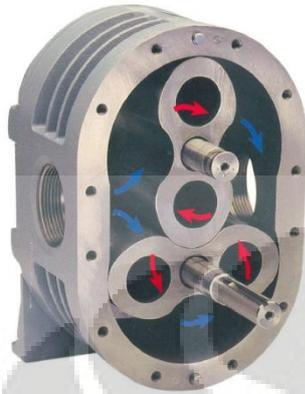
Di STP 1 terdapat 4 bak unit aerasi dengan masing-masing bak memiliki volume  $126,54 \text{ m}^3$ . Bak-bak aerasi yang terdapat di STP 1 memiliki dimensi yang seragam, yaitu lebar 4 m, panjang 8,325 m, dan kedalaman 4,5 m dengan freeboard sekitar 70-80 cm. Gambar teknik yang lebih detil untuk unit ini dapat dilihat pada lampiran dengan nama gambar: “Denah, Potongan, Dan Flow Diagram STP”. Sebagaimana nama dari unit ini, di dalam tiap bak aerasi terdapat pipa-pipa aerasi untuk mengalirkan udara, dan masing-masing bak memiliki 4 pipa pengalir udara.

Pada awal desain-nya, air limbah yang mengalir dari saluran inlet STP menuju bak pembagi air dialirkan menggunakan pipa ke 2 bak aerasi yang terpisah. Akan tetapi, saat ini pipa yang mengalirkan air limbah dari bak pembagi air ke bak aerasi hanya berfungsi 1 buah, sehingga hanya terdapat 1 buah bak aerasi yang mendapatkan aliran air limbah langsung dari saluran pembagi air. Hal tersebut menyebabkan dibuatnya lubang antara bak aerasi yang terdekat, sehingga air limbah dari bak aerasi juga mengalir ke bak aerasi terdekat lainnya yang tidak mendapatkan aliran air limbah dari bak pembagi air. Hal tersebut telah mengubah rancangan desain awal yang juga mempengaruhi kualitas air limbah dalam bak aerasi.

Jenis aerator yang digunakan dalam bak ini adalah *non-porous difuser tube* dengan *orifice* (lubang udara) berada di sepanjang pipa di dalam bak aerasi dekat dengan dasar bak, dan tiap pipa aerasi memiliki *valve* (keran) untuk mengontrol aliran udara. Pipa yang digunakan ialah berbahan material besi yang dicat, sehingga tahan terhadap karat. Dengan penggunaan jenis aerator tersebut, maka gelembung udara yang dihasilkan memiliki ukuran yang besar (jenis *coarse bubble*) dan efisiensi aerasi yang lebih rendah. Pipa-pipa ini mengalirkan udara bersih dari luar STP menggunakan blower dengan tipe *rotary lobe positive displacement*.

Blower udara yang digunakan terdapat 2 buah dan masing-masing berjalan 12 jam dalam sehari semalam (24 jam) secara otomatis dengan rentang pengaliran udara adalah selama 1 jam dan dilakukan setiap 2 jam sekali. Misalnya pada pukul 07.00–08.00 blower udara I mengalirkan udara, selanjutnya pada pukul 08.00–09.00 blower udara II yang bekerja, sedangkan blower udara I berhenti. Lalu pada

pukul 09.00–10.00 dilanjutkan blower udara I yang bekerja mengalirkan udara, begitu seterusnya.



Gambar 4.15 *Rotary Lobe Positive Displacement Blower*



Gambar 4.16 Salah satu *lobe blower* yang sedang rusak

Sumber: [www.everestblowers.com](http://www.everestblowers.com) (kiri) & Hasil Dokumentasi (kanan)

Namun, permasalahan yang sering terjadi di lapangan ialah blower yang tidak konstan mengalirkan udara, sehingga udara yang mengalir tidak sesuai rencana desain selama 1 jam.



Gambar 4.17 Kondisi Bak Aerasi Saat Blower Beroperasi (kiri) & Tidak Beroperasi (kanan)

Sumber: Hasil Dokumentasi

Saat penelitian dilakukan, terjadi kerusakan pada kedua blower udara yang menyebabkan proses aerasi tidak berjalan. Blower udara tersebut sama sekali tidak berfungsi selama hampir 3 pekan. Penyebab utama kerusakan yang terjadi pada blower adalah kerusakan pada blower karena masa penggunaan alat yang sudah lama, yaitu hampir 30 tahun, karena sejak STP dibangun blower tersebut telah digunakan. Akibat dari tidak berfungsinya blower menyebabkan beberapa permasalahan yang terjadi di STP antara lain ialah (1) tidak tercampurnya limbah yang masuk ke bak aerasi secara merata, sehingga dapat terlihat penumpukan feses di permukaan bak aerasi, dan (2) tidak terdapat injeksi oksigen dari aerator ke dalam bak aerasi.



Gambar 4.18 Penumpukan Feses Pada Permukaan Bak Aerasi

Sumber: Hasil Dokumentasi

Air limbah yang telah melalui proses di bak aerasi selanjutnya akan mengalir menuju bak sedimentasi dengan mekanisme limpahan melalui lubang *overflow*. Terdapat 2 buah lubang *overflow*, masing-masing terdapat di bak aerasi yang bersebelahan dengan bak sedimentasi. Pada desain awal, lubang *overflow* tersebut dapat secara otomatis tenggelam atau terapung sesuai dengan elevasi muka air pada bak aerasi. Akan tetapi, saat ini lubang *overflow* tersebut tidak lagi fleksibel mengikuti elevasi muka air di bak aerasi karena kerusakan yang terjadi. Selain itu, pada lubang ini sering terjadi penyumbatan akibat masuknya limbah-limbah padatan (yang belum atau tidak bisa hancur), maka dari itu dilakukan

pembersihan secara rutin pada lubang overflow sehingga air di bak aerasi dapat mengalir dengan lancar. Kondisi lain yang dapat ditemui di bak aerasi ialah dipeliharanya ikan-ikan lele & gabus di dalam bak ini. Walaupun tidak banyak ikan yang ditemui di dalam bak-bak ini (kira-kira  $\pm <10$  ikan), ikan-ikan tersebut tentunya dapat mempengaruhi proses aerasi yang terjadi karena dapat berpotensi menghambat aliran udara pada pipa aerasi.



Gambar 4.19 Lubang-Lubang *Overflow* Di Bak Aerasi

Sumber: Hasil Dokumentasi

#### 4.4.3 Unit Sedimentasi

Di STP 1 terdapat 2 unit bak sedimentasi dengan dimensi yang seragam, yaitu masing-masing bak memiliki lebar 3,7 m, panjang 5,5 m, dan kedalaman 4,5 m dengan freeboard sekitar 70–80 cm. Bentuk bak sedimentasi ini menyerupai kerucut di bagian bawahnya untuk membantu pengumpulan lumpur yang mengendap di dasar bak, dan masing-masing bak memiliki 2 bentuk kerucut di bagian bawahnya (pada kedalaman 2,25 m sampai 4,5 meter). Gambar teknik yang lebih jelas untuk unit ini dapat dilihat pada lampiran dengan nama gambar: “Denah, Potongan, Dan Flow Diagram STP”.

Air limbah yang telah diolah di bak sedimentasi kemudian melimpah dan mengalir menuju unit klorinasi melalui saluran limpahan. Pelimpah yang digunakan pada bak sedimentasi ialah berbentuk pelat besi dan juga dapat ditemui pelimpah yang berbentuk gerigi-gerigi (*v-notch weir*) di bagian yang lebih tinggi dari pelimpah pelat besi. Pada saat observasi, pernah ditemui lumpur-lumpur yang

terapung yang menyangkut pada pelimpah (*weir*) tersebut. Lumpur-lumpur tersebut merupakan limbah padatan yang terbawa dari bak aerasi dan tidak hancur pada proses di bak aerasi. Biasanya lumpur-lumpur tersebut dibersihkan manual secara rutin.



Gambar 4.20 Lumpur Yang Terapung Di Permukaan Bak Sedimentasi

Sumber: Hasil Dokumentasi

Di unit ini dapat ditemui pipa-pipa yang digunakan untuk memompa lumpur dari dasar bak. Pompa-pompa tersebut merupakan pompa *submersible* (pompa yang terendam air) dan terdapat di dasar bak sedimentasi. Untuk tiap 1 pipa terdapat 1 pompa lumpur *submersible*. Untuk setiap bak sedimentasi terdapat 2 buah pipa pemompa lumpur. Pipa tersebut kemudian mengalirkan lumpur ke saluran *recycle sludge* untuk kemudian dikembalikan ke saluran inlet STP dan mengalirkan juga ke bak penampung lumpur.

#### 4.4.4 Unit Klorinasi & Bak Penampung

Terdapat 1 unit bak klorinasi yang digunakan di STP ini. Dimensi bak klorinasi ialah memiliki lebar 2,2 m, panjang 3,7 m, dan kedalaman  $\pm 2,25$  m dengan ketinggian baffle  $\pm 1,5$  m. Unit ini berbentuk saluran-saluran berliku (*baffle*), sehingga memungkinkan pencampuran bahan kimia disepanjang aliran dalam *baffle* secara merata. Gambar teknik yang lebih detil untuk unit ini dapat

dilihat pada lampiran dengan nama gambar: “Denah, Potongan, Dan Flow Diagram STP”.

Klor yang diinjeksikan ke unit ini dilakukan secara manual, akan tetapi, frekuensi injeksi klor tidak dilakukan secara rutin, melainkan pada saat-saat tertentu saja saat air limbah dalam kondisi yang sangat kotor. Terkadang untuk hal-hal yang membutuhkan penambahan bahan kimia lainnya ke dalam air limbah, unit klorinasi inilah yang digunakan sebagai tempat injeksinya. Sebagai contoh, pengelola gedung pernah menambahkan tawas ke dalam unit klorinasi untuk menjernihkan air limbah. Penambahan tawas tersebut dilakukan setelah dilihat bahwa air limbah yang masuk ke unit klorinasi masih keruh.

Pada saat aliran air limbah yang masuk ke unit sedang tinggi, maka *baffle* akan terendam air limbah sepenuhnya karena ketinggian air limbah melebihi ketinggian *baffle*.



Gambar 4.21 Bak Klorinasi Dengan *Baffle*

Sumber: Hasil Dokumentasi

Air limbah yang telah diolah dalam bak klorinasi kemudian mengalir ke bak penampung air limbah olahan (bak penampung). Karena posisi unit klorinasi berada di atas bak penampung, maka air akan terjun ke bawah menuju ke bak penampung. Bak penampung ini memiliki dimensi lebar 4,45 m, panjang 3,7 m, dan kedalaman 4,5 m. Air dari bak penampung ini selanjutnya dialirkan menuju ke danau menggunakan pompa. Pada awalnya pompa yang digunakan bertipe *submersible*, akan tetapi, dikarenakan sering terjadi kerusakan, maka pompa

dipindahkan ke atas untuk memudahkan pengoperasian dan perawatan. Gambar detail mengenai posisi desain pompa bak penampung awal dan aliran air limbah olahan ke outlet dapat dilihat pada lampiran gambar: “Denah Pembuangan Air Sewage Treatment Plant”.



Gambar 4.22 Pompa Bak Penampung

Sumber: Hasil Dokumentasi

#### 4.4.5 Mekanisme Pengembalian Lumpur & Pembuangan Lumpur

Dalam proses *activated sludge*, salah satu komponen yang penting selain proses aerasi dan sedimentasi ialah mekanisme pengembalian lumpur (*return sludge*) ke aliran inlet limbah serta pembuangan lumpur. Di STP ini, blower yang digunakan tidak hanya berfungsi untuk mengalirkan udara ke unit aerasi, akan tetapi juga membantu mekanisme *return sludge* dengan menyedot sludge dalam bak sedimentasi untuk dialirkan melalui saluran *return sludge* menuju ke saluran inlet atau ke bak penampung lumpur. Saat blower masih berfungsi secara normal, hanya 1 pipa *return sludge* yang berfungsi mengalirkan lumpur ke inlet limbah, sedangkan 3 pipa lainnya rusak, sehingga tidak berfungsi.

Mekanisme pembuangan lumpur (*wasted sludge*) juga tidak berjalan dengan baik. Lumpur yang sudah tidak digunakan seharusnya dialirkan ke bak penampung lumpur menggunakan pipa *submersible* dari bak sedimentasi. Namun, lumpur yang dihasilkan dari proses *activated sludge* di STP tidak dibuang secara

rutin, melainkan dидiamkan dalam bak sedimentasi dan bak aerasi, sehingga bak penampung lumpur sama sekali tidak digunakan (saat ini digunakan untuk memelihara ikan-ikan). Lumpur-lumpur yang dihasilkan dari proses yang terjadi baru akan dipompa keluar (biasa diistilahkan di lapangan dengan “pengurasan bak”) dari bak-bak sedimentasi dan bak-bak aerasi setelah satu tahun lamanya STP beroperasi. Hal tersebut akan mempengaruhi proses yang terjadi di dalam unit bak aerasi, bak sedimentasi, serta kualitas air limbah yang dihasilkan di outlet STP.

#### 4.5 Danau

Di kompleks area Gedung Manggala Wanabakti terdapat sebuah danau buatan. Danau ini memiliki luas  $\pm 1.356 \text{ m}^2$  dengan kedalaman bervariasi antara  $\pm 6-8 \text{ m}$ , dan dapat menampung volume air hingga  $\pm 8.150 \text{ m}^3$ . Danau buatan tersebut berfungsi sebagai kolam stabilisasi limbah, yaitu sebagai tempat purifikasi secara alami seluruh limbah cair yang dihasilkan oleh kegiatan-kegiatan manusia di dalam Gedung Manggala Wanabakti, sehingga dapat memperbaiki kualitas air limbah dan tidak mencemari badan air penerima. Limbah cair yang dihasilkan oleh aktivitas di dalam Gedung Manggala Wanabakti dan seluruh air limpasan hujan mengalir seluruhnya ke dalam danau buatan melewati saluran drainase.

Sebelum mengalir ke danau, air limbah tersebut telah mengalami proses pengolahan di STP, sehingga kualitas air yang masuk ke danau terjaga dan tidak mencemari danau secara berat. Sumber-sumber air danau ini antara lain ialah dari efluent limbah cair di STP 1 & 2, limpasan air hujan dari area parkir maupun talang air, serta dari pembuangan air kotor di gedung parkir yang langsung dibuang ke danau tanpa melewati saluran drainase. Danau ini juga memiliki titik outlet untuk mengalirkan air danau ke luar menuju saluran drainase kota. Aliran outlet ini dijalankan dengan mekanisme *overflow*, sehingga bila debit air danau naik maka secara otomatis air danau akan melimpah ke luar menuju saluran outlet untuk selanjutnya mengalir ke saluran drainase kota, lalu mengalir ke Kali Grogol. Namun, pada saat cuaca panas atau musim kering, tidak terjadi aliran air danau keluar menuju saluran drainase kota, akan tetapi terserap secara perlahan ke

tanah. Akan tetapi, saat musim hujan dan air danau memiliki debit aliran yang tinggi, maka *overflow* aliran danau ke luar menuju drainase kota sangat dimungkinkan terjadi.



Gambar 4.23 Danau Buatan Pada Area Kompleks Gedung Manggala Wanabakti  
(dilihat dari berbagai sudut)

Sumber: Hasil Dokumentasi

Sesuai dengan fungsinya sebagai kolam stabilisasi limbah, maka di dalam danau buatan tersebut terdapat berbagai macam makhluk hidup air tawar yang sengaja dipelihara untuk menjaga keseimbangan ekosistem danau. Makhluk hidup yang ada diantaranya adalah ikan mujair, ikan mas, ikan gabus, ikan sapu-sapu, dan ikan lele. Selain itu, air danau ini berwarna kehijauan, menandakan bahwa terdapat alga yang hidup di dalam air yang berperan dalam melakukan proses fotosintesis dalam air, sehingga kadar oksigen dalam air terjaga. Untuk mencegah terjadinya pencemaran di danau, sehingga keberlangsungan ekosistem danau yang berperan penting dalam purifikasi air limbah dapat berjalan dengan seimbang,

maka limbah cair yang masuk ke danau harus memenuhi persyaratan kualitas baku mutu. Badan Pengelola Gedung Manggala Wanabakti telah menetapkan standar baku mutu bagi danau ini sesuai dengan Keputusan Gubernur DKI Jakarta Nomor 582 Tahun 1995, mengenai Baku Mutu Air Sungai Jakarta. Baku mutu yang digunakan ialah berdasarkan standar baku mutu air sungai golongan C, akan tetapi Badan Pengelola Gedung mengubah sedikit beberapa standar parameter yang digunakan.

Tabel 4.27 Standar Baku Mutu Air Danau & Hasil Pengujian Laboratorium BPLHD Terhadap Kualitas Air Limbah Di Danau (Mei 2010)

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Inlet 1	Inlet 2	Outlet
1.	Daya Hantar Listrik	µmhos/cm	750	382,00	366,00	371,00
2.	Zat padat terlarut (TDS)	mg/L	500	190,60	182,80	185,40
3.	Zat padat tersuspensi (TSS)	mg/L	100	23,0	21,0	21,0
4.	Kekeruhan	NTU	100	20,0	18,0	18,0
5.	Air Raksa	mg/L	0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001
6.	Amonia (NH <sub>3</sub> )	mg/L	2,0	0,14	0,10	*
7.	Besi (Fe)	mg/L	-	0,07	0,04	0,07
8.	Fluorida (F)	mg/L	1,50	*	*	*
9.	Kadmium (Cd)	mg/L	0,010	< 0,003	< 0,003	< 0,003
10.	Chlorida (Cl)	mg/L	20,00	67,50	24,11	43,39
11.	Klorin Bebas	mg/L	0,003	*	*	*
12.	Chromium (total)	mg/L	-	< 0,006	< 0,006	< 0,006
13.	Chromium Hexavalent	mg/L	0,050	*	*	*
14.	Mangan (Mn)	mg/L	-	0,01	< 0,004	< 0,004
15.	Nikel (Ni)	mg/L	0,10	< 0,010	< 0,010	< 0,010
16.	Nitrit (NO <sub>2</sub> )	mg/L	1,0	0,01	0,09	0,01
17.	pH	-	6,0 – 8,5	6,6	6,7	6,9
18.	Phosphat (PO <sub>4</sub> )	mg/L	0,50	0,27	0,13	0,19
19.	Seng (Zn)	mg/L	0,050	0,01	0,01	0,02
20.	Sulfat (SO <sub>4</sub> )	mg/L	50,00	39,43	37,04	40,71
21.	Sulfida (H <sub>2</sub> S)	mg/L	0,002	0,16	0,02	0,07
22.	Tembaga (Cu)	mg/L	0,020	< 0,006	< 0,006	< 0,006
23.	Timah Hitam (Pb)	mg/L	0,030	< 0,023	< 0,023	< 0,023
24.	Fenol	mg/L	0,002	0,01	0,01	0,02
25.	Minyak dan Lemak	mg/L	1,0	*	*	*
26.	Senyawa Aktif Biru Metilen	mg/L	0,50	*	0,17	0,04
27.	Organik (KmnO <sub>4</sub> )	mg/L	25,0	18,86	10,60	11,04
28.	BOD (20°C, 5 hari)	mg/L	20,0	11,40	8,65	8,70
29.	COD (Dichromat)	mg/L	30,0	23,93	14,27	17,09

\*) tidak terdeteksi

Sumber: Badan Pengelola Gedung Manggala Wanabakti

Secara berkala, yaitu 3 bulan sekali, pengelola gedung melakukan pengecekan kualitas air limbah di 3 titik di danau, yaitu titik inlet 1, inlet 2, dan

outlet. Titik-titik inlet yang dilakukan pengecekan antara lain ialah pada saluran masuk efluent air limbah STP 1 dan STP 2, serta pada titik outlet danau menuju ke saluran drainase kota. Seiring beroperasinya, danau buatan ini pernah mengalami beberapa permasalahan. Umumnya, permasalahan yang terjadi ialah akibat permasalahan dari air limbah yang masuk ke danau. Diantara permasalahan yang terjadi adalah pada kualitas air danau yang menurun dan sedimentasi yang terjadi di dasar danau. Hasil pengecekan kualitas air yang dilakukan pada titik-titik inlet danau yang bersumber dari efluent air limbah di STP 1 & 2, danau ini pernah mengalami peningkatan kandungan amonia.

Danau ini juga pernah berwarna hijau cukup pekat karena terlalu banyak kandungan alganya. Danau ini juga pernah berbau menyengat karena air limbah yang masuk kelebihan kandungan minyak/lemak akibat pengoperasionalan yang tidak baik dari *grease trap*. Air limbah hasil olahan dari *grease trap* (perangkap minyak) mengalir melalui saluran drainase yang juga mengalirkan air limbah efluent dari STP 1. Umumnya, efluent dari *grease trap* ini langsung dialirkan menuju danau tanpa melewati proses pengolahan di STP terlebih dahulu, walaupun sebenarnya air efluent dari *grease trap* bisa dialirkan masuk ke STP 1 bila memang dibutuhkan dilakukan pengolahan lebih lanjut. Sedimentasi juga kerap terjadi di dasar danau. Sedimentasi ini antara lain berasal dari daun-daun yang meranggas dari pepohonan di dekat danau dan belum sempat dibersihkan kemudian terdekomposisi hingga ke dasar danau, serta ada pula yang berasal dari air limbah itu sendiri yang membawa komponen padatan yang belum terolah secara sempurna di STP. Sedimen ini secara berkala juga di pompa keluar dari danau, akan tetapi karena luasnya area danau maka dalam satu kali pemompaan sedimen tidak bisa dilakukan untuk seluruh area danau.



Gambar 4.24 Titik Inlet Danau Dari STP 1

Sumber: Hasil Dokumentasi



Gambar 4.25 Titik Inlet Danau Dari STP 2  
(Pipa Di Bawah Permukaan Air)

Sumber: Hasil Dokumentasi



Gambar 4.26 Titik Outlet Danau (bulat merah)

Sumber: Hasil Dokumentasi

Pada awalnya, danau ini tidak dilengkapi dengan aerator, akan tetapi mulai tahun 2003 danau tersebut dilengkapi dengan aerator-aerator yang tersebar di beberapa titik di seluruh area danau. Aerator-aerator tersebut dioperasikan untuk meningkatkan kandungan oksigen sekaligus mensirkulasikan air di dalam danau. Pertimbangan digunakannya aerator-aerator pada danau di antaranya ialah karena danau ini memiliki kedalaman air yang cukup dalam hingga  $\pm 6-8$  m, sehingga lapisan air yang tidak terjamah oleh sinar matahari dapat tersirkulasikan sampai ke permukaan air bahkan sampai ke udara, sehingga suplai oksigen dapat didistribusikan secara merata. Aerator-aerator tersebut juga digunakan sebagai penambah nilai estetika pada danau, sehingga terlihat seperti air mancur dibandingkan dengan aerator pengolah air limbah.

Tipe-tipe aerator yang digunakan bervariasi, dan disesuaikan dengan fungsinya masing-masing. Ada 4 macam tipe aerator dan alat sirkulasi yang digunakan, yaitu: Spike Jet, Double Daisy, Water Bell, dan Current Circulated. Spike jet merupakan tipe aerator yang memompa air dari dalam danau dan dipancarkan keluar hingga ketinggian  $\pm 5$  m di atas permukaan air danau. Double Daisy merupakan tipe aerator yang memancarkan air dari dalam danau dan dipancarkan keluar dengan bentuk bunga, yaitu seperti bentuk air mancur yang memancar melengkung kesegala arah dengan ketinggian rata-rata  $\pm 1-2$  m. Selanjutnya, tipe aerator Water Bell hampir mirip dengan Double Daisy, hanya saja bentuk pancurannya seperti lapisan lengkungan payung yang memancar melebar berbentuk lingkaran dengan diameter  $\pm 1,5$  m dan ketinggian  $\pm 0,5$  m. Selanjutnya, ialah alat sirkulasi, dinamakan dengan Current Circulated. Fungsi utama alat ini adalah untuk mensirkulasikan air danau dengan mengalirkan air pada kedalaman hampir menyentuh dasar danau dan memompanya ke bagian danau lain yang lebih tinggi, baik masih di dalam danau maupun hanya dipancarkan sedikit ke permukaan danau. Gambar lebih jelas untuk tipe aerator yang digunakan dapat dilihat pada lampiran.

Terdapat permasalahan dari aerator yang umum ditemui, yaitu pada penurunan kekuatan pompa aerator untuk memancarkan air danau ke atas permukaan. Permasalahan ini dapat dengan jelas terlihat pada aerator tipe Spike Jet. Dengan penurunan kekuatan pompa, maka ketinggian air yang dapat

dipancarkan oleh Spike Jet hanya sekitar  $\pm 3$  m. Begitu pula dengan tipe aerator double daisy dan water bell, beberapa diantaranya mulai terlihat tidak sempurna memancarkan air dengan bentuk yang sempurna. Akan tetapi, secara keseluruhan, sejak awal pengoperasionalan aerator dan alat sirkulasi, kualitas air di dalam danau terjaga dan tidak terjadi permasalahan yang berarti.



Gambar 4.27 Persebaran Titik-Titik Aerator & Titik Inlet & Outlet Di Danau

Sumber: Hasil Dokumentasi dan Data Badan Pengelola

## BAB 5 PEMBAHASAN

### 5.1 Analisis Input Air Limbah

#### 5.1.1 Analisis Debit Air Limbah

Pada bab sebelumnya telah dibahas mengenai macam-macam cara perhitungan yang dapat dilakukan untuk mendapatkan debit air limbah input ke STP 1, antara lain menggunakan: (1) perhitungan debit pemakaian air bersih, (2) perhitungan jumlah populasi manusia di dalam gedung dengan mengolah data luasan gedung efektif dengan nilai kepadatan ruang gedung, (3) perhitungan jumlah pemakaian alat-alat plumbing yang diolah dengan standar debit pemakaian air pada alat-alat plumbing, serta (4) perhitungan secara langsung debit air limbah yang masuk di inlet IPLC. Berikut ini akan ditampilkan kembali tabel hasil perhitungan debit timbulan air limbah.

Tabel 5.1 Hasil Perhitungan Debit Timbulan Air Limbah Tahun 2010

Cara Perhitungan	Debit Air Limbah (m <sup>3</sup> /hari)		
	Keseluruhan Gedung	Blok I, II, III, IV, dan VI	Blok VII
Pemakaian Air Bersih (Meteran PAM)	471	407	34
Luasan Efektif Gedung (Populasi Manusia)	569	414	154
Jumlah Alat-Alat Plumbing	-	224	-
Debit Inlet STP 1 (Perhitungan Langsung)	-	230	-

Sumber: Hasil Olahan

Dari keempat cara perhitungan timbulan air limbah tersebut didapatkan nilai debit yang berbeda-beda. Perhitungan dengan menggunakan luasan efektif gedung menghasilkan nilai debit air limbah tertinggi, dan nilai debit tertinggi selanjutnya

dihasilkan dengan perhitungan menggunakan angka pemakaian air bersih. Nilai debit yang didapatkan dengan menggunakan perhitungan jumlah alat-alat plambing dan perhitungan langsung pada saluran inlet STP memiliki angka yang tidak jauh berbeda, tetapi jauh lebih kecil dari pada cara perhitungan lainnya.

Dari keempat cara perhitungan nilai debit tersebut, yang paling mendekati keadaan sebenarnya ialah menggunakan perhitungan luasan efektif gedung, karena angka kepadatan ruang yang digunakan merupakan angka paling mutakhir yang merepresentasikan kondisi lapangan terkini. Perhitungan dengan angka pemakaian air bersih juga dapat merepresentasikan 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. Karena dalam perhitungan tersebut digunakan angka frekuensi pemakaian alat plambing per jam. Angka tersebut merupakan angka tipikal (dari referensi) untuk kondisi ideal. Akan tetapi, bila populasi pemakai sudah melewati batas ideal atau terlalu padat, maka angka frekuensi tersebut tidak bisa lagi mewakili kondisi di lapangan.

Selanjutnya, pada pengukuran debit air limbah secara langsung pada saluran inlet STP terdapat banyak kendala yang dialami yang menyebabkan nilai debit yang terhitung tidak akurat. Penyebab ketidakakuratan tersebut antara lain ialah dari keterbatasan alat yang digunakan, yaitu kecilnya ember atau wadah yang digunakan untuk menampung air limbah, yaitu hanya 5 liter. Dengan aliran limbah yang masuk pada titik inlet STP, volume wadah seharusnya lebih besar dari 5 L atau kurang lebih diatas 10 L agar perhitungan debit lebih akurat, akan tetapi dengan pengukuran yang dilakukan secara manual tersebut, dengan mengangkat ember dirasakan cukup sulit bila wadah/ember yang digunakan memiliki volume yang lebih besar. Selain akibat keterbatasan alat yang digunakan untuk mengukur debit inlet STP, rentang waktu perhitungan debit kurang, dan frekuensi pengambilan data debit air limbah belum memenuhi. Dengan beragam ketidakakuratan yang terjadi pada saat perhitungan debit air limbah, maka nilai debit air limbah yang digunakan untuk evaluasi merupakan rata-rata dari keempat cara perhitungan nilai debit air limbah, yaitu **318,75 m<sup>3</sup>/hari**.

### 5.1.2 Analisis Karakteristik Air Limbah

Seluruh limbah cair yang diolah pada STP 1 merupakan limbah yang dihasilkan dari aktivitas domestik, komponennya antara lain ialah dari kegiatan toilet dan dapur, dengan mayoritas kegiatan penghasil limbah ialah dari kegiatan toilet, seperti buang air kecil & besar, serta mencuci tangan. Dengan karakteristik input limbah tersebut, maka perlu untuk diketahui karakteristik fisik dan kimiawi dari air limbah untuk mengukur kinerja pengolahan air limbah di STP. Tabel berikut ini adalah hasil analisis kimiawi yang dilakukan pada input limbah yang diambil pada titik inlet STP 1. Karena terdapat kesalahan pada saat analisis sampel air limbah yang menyebabkan hasil analisis tidak representatif, maka dilakukan pengambilan sampel kembali pada waktu yang berbeda (26/10/2010 dan 1/12/2010).

Tabel 5.2 Analisis Parameter Inlet Limbah STP 1

<b>Parameter</b>	<b>Kandungan (mg/L)</b>	<b>Karakteristik Tipikal Limbah Domestik (mg/L)</b>	<b>Baku Mutu* (mg/L)</b>
TSS	<b>24,50<sup>A</sup></b>	100–350	50
BOD <sub>5</sub>	<b>63,78<sup>A</sup></b>	100–300	50
COD	<b>164,45<sup>A</sup></b>	200–500	80
Minyak Lemak	<b>1,06<sup>A</sup></b>	-	20
pH	<b>7 – 8<sup>A</sup></b>	6,5–9,0	6–9
Amonium-N	<b>26,00<sup>B</sup></b>	12–50	10
Total Nitrogen	<b>47,74<sup>B</sup></b>	20–85	-
Nitrogen Organik	<b>21,74<sup>B</sup></b>	8–35	-
Nitrit	<b>0,09<sup>B</sup></b>	0	-
Nitrat	<b>0,32<sup>B</sup></b>	0	-
Fosfat	<b>15,9<sup>B</sup></b>	6–20	-

<sup>A</sup>)Pergub DKI 122/2005, <sup>A</sup>)Sampel 1/12/2010, dan <sup>B</sup>)Sampel 26/10/2010

Sumber: Hasil Analisis Laboratorium

Dari hasil analisis sampel air limbah inlet STP 1 di laboratorium dapat diketahui bahwa, seluruh nilai karakteristik kimia & fisik air limbah inlet STP memenuhi standar karakteristik limbah cair domestik. Kadar fosfat air limbah di inlet STP sebesar 15,9 mg/L termasuk dalam kategori sedang. Kandungan fosfor dalam air limbah umumnya bersumber dari deterjen dan sabun yang biasa digunakan untuk mencuci, sehingga makin tinggi penggunaan deterjen makin tinggi pula kandungan fosfor dalam air limbah. Selanjutnya, bila dihitung rasio BOD:COD dari air limbah (influent) tersebut dihasilkan nilai sebesar 0,39. Hal tersebut disebabkan oleh tingginya angka COD air limbah bila dibandingkan dengan angka BOD<sub>5</sub> yang jauh lebih kecil. Akan tetapi, nilai rasio tersebut belum merepresentasikan kondisi air limbah influent yang sebenarnya di lapangan karena nilai BOD<sub>5</sub> air limbah influent bisa lebih besar dari analisis yang telah dilakukan. Sebagaimana di jelaskan pada Bab 4, kondisi *grinder* di saluran inlet STP sama sekali tidak berfungsi, sehingga homogenisasi tidak terjadi dan feses serta materi organik lainnya tidak hancur, selanjutnya mengakibatkan nilai BOD<sub>5</sub> yang rendah pada sampel air limbah influent.

Kandungan TSS & minyak lemak air limbah inlet STP termasuk dalam kategori yang sangat rendah, dan pH air limbah berada dalam batas normal. Walaupun terdapat beberapa aktivitas seperti kantin, restoran, dan kafe di dalam Gedung Manggala Wanabakti, akan tetapi debit air limbah yang dihasilkan dari kegiatan toilet dari gedung-gedung perkantoran jauh lebih besar, sehingga kadar minyak lemak dalam air limbah dapat dicapai dengan nilai yang rendah. Selain itu, beberapa faktor lain seperti penggunaan grease trap pada salah satu kafe serta pengalihan grease trap saluran nelayan ke saluran drainase juga mempengaruhi kadar minyak lemak air limbah yang rendah.

Kandungan total nitrogen dalam air limbah tersebut termasuk dalam kategori sedang. Parameter total nitrogen terdiri dari penjumlahan kandungan Nitrogen Organik, amonia, nitrite, dan nitrat. Bila dijumlahkan antara kandungan penyusun nitrogen total maka didapatkan angka sebesar 48,15 mg/L. Nilai tersebut lebih besar dari pengukuran total nitrogen yaitu sebesar 47,74 mg/L disebabkan adanya kandungan senyawa nitrat & nitrit yang terdeteksi dalam air limbah tersebut. Senyawa nitrit termasuk senyawa kimia yang relatif tidak stabil,

sehingga mudah sekali dioksidasi menjadi bentuk nitrat. Maka dari itu, hasil analisis yang didapatkan untuk kedua parameter ini wajar bila tidak mencapai 0 mg/L, disebabkan proses oksidasi yang telah terjadi. Selanjutnya, nilai total nitrogen air limbah, sedangkan kandungan nitrat & nitrit air limbah tersebut, walaupun termasuk yang memiliki kadar yang sangat kecil akan tetapi melebihi karakteristik tipikal air limbah domestik.

## 5.2 Analisis Proses Pengolahan Air Limbah

Dari hasil observasi lapangan yang telah dilakukan pada STP 1 dapat ditemui banyak kendala yang terjadi pada alat-alat yang esensial bagi pengolahan limbah. Alat-alat tersebut banyak yang mengalami kerusakan akibat masa operasional yang sudah lama dan beberapa ada yang belum pernah dilakukan perbaikan sejak awal operasional STP beroperasi. Analisis proses pengolahan air limbah akan menggunakan perhitungan parameter-parameter kriteria desain STP dan hasil pengukuran parameter kimiawi air limbah dalam unit pengolahan. Selanjutnya, akan dijelaskan mengenai kondisi eksisting yang terjadi pada masing-masing unit pengolahan limbah, lalu dibandingkan dengan keadaan seharusnya (keadaan ideal) dengan perhitungan yang mengacu pada kriteria desain yang didapatkan pada literatur.

Secara umum, permasalahan penting yang pertama kali dapat ditemui pada input limbah di STP 1 yaitu banyaknya limbah padat anorganik yang terbawa masuk oleh aliran air limbah, antara lain seperti pembalut wanita, puntung rokok, tisu, dan kondom. Limbah-limbah tersebut tidak hancur saat masuk ke bak aerasi karena beberapa hal, diantaranya ialah: tidak berfungsinya *grinder* pada bak inlet STP 1, terjadinya kerusakan pada alat penghancur padatan yang berada pada pompa air limbah di gedung Blok I, serta masalah ketidaktertiban pengguna toilet dalam menjaga kebersihan, sehingga banyak yang membuang sampah ke WC. Hal tersebut sangat mempengaruhi proses kinerja unit pengolahan pada STP karena limbah-limbah tersebut tidak dapat terdegradasi secara biologi. Selain itu, limbah-limbah tersebut dapat menyumbat saluran-saluran atau pipa-pipa air limbah yang ada.

### 5.2.1 Proses Pada Unit Aerasi

Sebagaimana telah dijelaskan pada bab sebelumnya bahwa saat dilakukan pengecekan kualitas air limbah pada unit-unit pengolahan yang ada, blower yang digunakan untuk mengalirkan udara bersih pada bak aerasi sudah rusak selama hampir 3 pekan. Kerusakan yang terjadi pada blower menyebabkan tidak berfungsinya unit aerasi sebagaimana mestinya. Untuk selanjutnya akan dihitung parameter-parameter desain ideal yang seharusnya diterapkan pada unit, sehingga proses pengolahan berfungsi dengan baik. Sebelum terjadi kerusakan blower, di STP telah mengalami beberapa permasalahan lainnya, diantaranya ialah seperti debit resirkulasi lumpur (*recycled sludge*) dari bak sedimentasi yang berkurang, sehingga kandungan lumpur resirkulasi di dalam bak aerasi sangat kecil. Begitu pula terjadi permasalahan pada mekanisme pembuangan lumpur (seperti yang telah dibahas pada bab sebelumnya). Hal tersebut menyebabkan nilai MLSS air limbah yang tidak wajar karena sangat kecil. Berikut ini adalah hasil analisis air limbah pada titik inlet, bak aerasi, dan outlet bak aerasi pada saat aerator tidak berfungsi (sampel air limbah diambil pada tanggal 1/12/ 2010).

Tabel 5.3 Hasil Analisis TSS, BOD<sub>5</sub>, dan COD Pada Bak Aerasi

Titik Sampel	TSS (mg/L)	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	COD (mg/L)
Inlet	24,5	63,78	164,45
Bak Aerasi 1	114 <sup>*)</sup>	-	-
Bak Aerasi 1 Outlet	27,25	37,25	116,98
Bak Aerasi 2	36 <sup>*)</sup>	-	-
Bak Aerasi 2 Outlet	15,25	27,85	95,41

<sup>\*)</sup>kandungan MLSS

Sumber: Hasil Analisis Laboratorium

Pernah dilakukan analisis awal kadar MLSS pada bak aerasi (pada salah satu bak yang memiliki lubang overflow ke bak sedimentasi) saat blower udara masih berfungsi, yaitu sebesar 134 mg/L, padahal rata-rata kandungan MLSS di bak aerasi pada proses *activated sludge* dengan tipe *extended aeration* ialah

sebesar 2000–5000 mg/L. Selanjutnya, dilakukan lagi analisis kandungan MLSS di 2 bak aerasi yang memiliki lubang overflow ke bak sedimentasi pada saat blower rusak. Hasilnya menunjukkan kadar MLSS yang lebih kecil daripada saat blower belum rusak dan proses aerasi masih berfungsi, yaitu 114 mg/L dan 36 mg/L. Rendahnya kandungan MLSS pada bak aerasi juga disebabkan oleh tidak sempurnanya pencampuran limbah kotoran manusia di seluruh bak aerasi akibat tidak dilakukan penghancuran pada tahap pra-pengolahan. Limbah-limbah tersebut masih banyak ditemukan terapung di permukaan bak aerasi bahkan hancurnya ada yang ditemukan (sudah membusuk) sampai ke bak sedimentasi. Perbedaan yang besar dari kandungan MLSS di antara dua bak aerasi dapat disebabkan karena perubahan aliran limbah dari bak pembagi air, dan kondisi ini telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

Selanjutnya akan dilakukan perhitungan efisiensi penyisihan untuk kandungan BOD dan TSS pada bak aerasi. Kandungan BOD yang dianalisis pada 2 titik outlet bak aerasi menuju bak sedimentasi adalah masing-masing 116,98 mg/L dan 95,41 mg/L, sedangkan untuk kandungan TSS pada titik outlet di 2 bak aerasi ialah masing-masing 27,25 mg/L dan 15,25 mg/L. Maka dari itu, efisiensi pengolahan yang terjadi pada kedua bak aerasi untuk BOD dan TSS akan berbeda karena perbedaan kadar TSS & BOD pada titik-titik outletnya. Berikut ini adalah perhitungannya;

- **% removal pada Bak Aerasi 1:**

$$\% \text{ BOD removal} = \frac{63,78 \text{ mg / L} - 37,25 \text{ mg / L}}{63,78 \text{ mg / L}} \times 100\% = 41,60\%$$

$$\% \text{ TSS removal} = \frac{24,5 \text{ mg / L} - 27,25 \text{ mg / L}}{24,5 \text{ mg / L}} \times 100\% = -11,22\%$$

(kandungan TSS bertambah 11,22%)

- **% removal pada Bak Aerasi 2:**

$$\% \text{ BOD removal} = \frac{63,78 \text{ mg / L} - 27,85 \text{ mg / L}}{63,78 \text{ mg / L}} \times 100\% = 56,33\%$$

$$\% \text{ TSS removal} = \frac{24,5 \text{ mg / L} - 15,25 \text{ mg / L}}{24,5 \text{ mg / L}} \times 100\% = 37,76\%$$

Nilai-nilai % removal tersebut menampilkan kondisi yang tidak sehat dari pengolahan di bak aerasi karena tidak berfungsinya aerator. Walaupun mayoritas bak aerasi masih mampu menyisihkan kandungan BOD & TSS, tetapi masih terdapat bak aerasi yang tidak dapat menyisihkan kandungan TSS air limbah.

Selanjutnya dilakukan pula analisis kandungan COD pada 2 pada bak aerasi tersebut (saat blower rusak) adalah masing-masing 116,98 mg/L dan 95,41 mg/L. Akibat tidak berfungsinya aerator selama 3 pekan, maka kandungan oksigen di dalam air limbah pada bak-bak aerasi berkurang akibat konsumsi oksigen oleh materi organik yang ada. Akan tetapi, aliran air limbah dari bak pembagi air lalu ke bak aerasi dan dilanjutkan ke bak sedimentasi masih berfungsi dengan normal, sehingga asupan oksigen dalam air limbah hanya didapatkan dari kandungan oksigen dari inlet air limbah.

Hal yang penting untuk dilakukan dalam mengontrol proses pengolahan air limbah pada metode activated sludge salah satunya ialah dengan menjaga kandungan oksigen dalam bak aerasi pada rentang 1,5 – 2 mg/L. Akan tetapi, dengan tidak berfungsinya aerator akibat blower yang rusak, maka kandungan oksigen dalam bak aerasi akan rendah. Sebelumnya tidak dilakukan pengukuran kandungan DO pada bak aerasi, akan tetapi dapat dilihat dari kandungan COD-nya.

Dengan ketidaklayakan kondisi yang terjadi di STP disebabkan kerusakan alat-alat yang ada, sehingga mempengaruhi hasil analisis fisik kimia sampel air limbah, maka akan dilakukan desain ulang dengan parameter-parameter desain sebagai berikut:

- $Q_{\text{air limbah}} = 350 \text{ m}^3/\text{hari}$
- $V_{\text{bak aerasi}} = 510 \text{ m}^3$
- $BOD_{\text{in}} = 300 \text{ mg/L} = 0,30 \text{ kg/m}^3$
- $BOD_{\text{out}} = 5 \text{ mg/L} = 0,005 \text{ kg/m}^3$
- $Y = 0,8 \text{ kg/kg}$
- $k_d = 0,037 \text{ hari}^{-1}$
- $MLSS (x) = 2500 \text{ mg/L} = 2,5 \text{ kg/m}^3$
- $\text{Kandungan padatan lumpur} = 8.000 \text{ mg/L} = 8 \text{ kg/m}^3$

Nilai debit air limbah merupakan pembulatan dari nilai debit inlet STP yang telah dihitung sebelumnya, begitu pula dengan volume bak aerasi yang digunakan merupakan pembulatan dari volume yang telah dihitung sebelumnya. Selanjutnya, untuk kandungan  $BOD_{in}$  diambil menggunakan nilai karakteristik umum air limbah dengan rentang sedang-tinggi, sedangkan untuk kandungan  $BOD_{out}$  menggunakan kadar BOD di danau yang telah dilakukan analisis sebelumnya. Pertimbangan penggunaan kadar  $BOD_{in}$  tersebut ialah karena saat analisis parameter BOD di inlet didapatkan nilai yang sangat kecil disebabkan limbah yang masuk belum tercampur secara sempurna. Untuk parameter Y, Kd, MLSS, dan kandungan padatan dalam lumpur seluruhnya menggunakan parameter kriteria desain

Berikut ini adalah perhitungan kebutuhan oksigen untuk pengolahan air limbah;

1. Perhitungan kebutuhan oksigen teori;

$$O_2 \text{ kg / d} = \frac{Q(S_0 - S)}{BOD_5 - BOD_L} - 1,42P_x \quad (\text{dari persamaan 2.9})$$

$$O_2 \text{ kg / d} = \frac{350 \text{ m}^3 / \text{d}(0,3 - 0,005) \text{ kg / m}^3}{0,68} - 1,42 \times 84 \text{ kg / d} = 32,558 \text{ kg / d}$$

$$O_2 \text{ kg / d} \approx 33 \text{ kg / d}$$

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

Dengan nilai altitude =  $\pm 12$  m (dpl), maka didapatkan:

$$F_a = \left( 1 - \frac{\text{altitude} \cdot m}{9450} \right) \quad (\text{dari persamaan 2.11})$$

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

Lalu, dengan nilai  $A = 33,3 \text{ m}^2$ ;  $f = 0,5 \text{ m/d}$ ;  $T_a = 18^\circ$ ;  $T_i = 23^\circ$ ; dan nilai  $Q = 350 \text{ m}^3/\text{day}$ , maka didapatkan:

$$T = \frac{(33,3 \text{ m}^2 \times 0,5 \text{ m / d} \times 18^\circ) + (350 \text{ m}^3 / \text{day} \times 23^\circ)}{(33,3 \text{ m}^2 \times 0,5 \text{ m / d}) + 350 \text{ m}^3 / \text{day}} = 24,68^\circ$$

Sehingga, nilai SOR yang didapatkan adalah sebagai berikut:

$$SOR \text{ kg / d} = \frac{N}{[(C'_{sw} \beta F_a - C) / C_{sw}] (1,024)^{T-20} \alpha} \quad (\text{dari persamaan 2.10})$$



$$\text{Suplai udara} = \frac{1,6875 \text{ m}^3 / \text{min}}{16} = 0,105 \text{ m}^3 / \text{min/tube}$$

Untuk tiap tube terdapat 8 orifice, maka suplai udara untuk masing-masing orifice adalah  $= 0,105 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{tube}^{-1} / 8 \text{ tube} = 0,0132 \text{ m}^3 / \text{min}$

Berikut ini adalah perhitungan HDT pada bak aerasi;

$$\theta = \frac{V}{Q} = \frac{510 \text{ m}^3}{350 \text{ m}^3 / \text{day}} \times \frac{24 \text{ hr}}{\text{day}} = 34,97 \text{ hr}$$

$$\theta \approx 35 \text{ hr}$$

Berikut ini adalah perhitungan F/M ratio pada kondisi ideal desain;

$$F / M \text{ ratio} = \frac{Q \cdot S_0}{V \cdot x} = \frac{350 \text{ m}^3 / \text{day} \cdot 0,3 \text{ kg} / \text{m}^3}{510 \text{ m}^3 \cdot 2,5 \text{ kg} / \text{m}^3} = 0,0824 \text{ kg} / \text{day}$$

Nilai F/M ratio yang telah dihitung di atas termasuk dalam nilai F/M ratio kriteria desain, sehingga baik untuk kinerja proses pengolahan karena mikroorganisme yang berada dalam bak aerasi dijaga dalam kondisi yang “lapar”, sehingga optimal dalam mendegradasi kandungan organik dalam air limbah. Akan tetapi, akan lebih baik bila nilai rasio tersebut dikontrol pada nilai rasio yang lebih tinggi (sekitar 0,10). Terdapat beberapa alternatif yang memungkinkan untuk dilakukan kontrol di lapangan untuk meningkatkan nilai F/M rasio tersebut, diantaranya ialah dengan meningkatkan nilai *food*, atau mengurangi nilai *mikroorganisme* di dalam air limbah dengan mengurangi nilai MLSS air limbah di dalam bak aerasi. Kontrol untuk mengupayakan penambahan nilai *food* dalam air limbah dapat dilakukan dengan meningkatkan kandungan materi organik dalam air limbah atau dengan meningkatkan debit air limbah yang masuk ke STP. Dari kedua alternatif tersebut yang memungkinkan untuk dilakukan ialah meningkatkan kandungan materi organik dalam air limbah. Upaya yang dapat dilakukan antara lain dengan melakukan *mixing* & penghancuran limbah-limbah secara sempurna sebelum masuk ke bak aerasi. Cara yang dapat dilakukan antara lain ialah dengan mengoperasikan bak ekualisasi limbah (dengan alat *mixing* di

dalamnya) sebelum disalurkan ke STP, atau dengan mengopersikan kembali alat penghancur limbah (*grinder*) pada bak pembagi air.

Alternatif selanjutnya yaitu dengan pengurangan nilai mikroorganisme dalam air limbah dapat dilakukan dengan mengurangi volume bak aerasi atau mengurangi nilai MLSS air limbah. Kedua alternatif tersebut memungkinkan untuk dilakukan di lapangan, akan tetapi alternatif pengurangan nilai MLSS adalah yang lebih mudah dilakukan. Untuk alternatif pengurangan nilai MLSS air limbah diupayakan untuk diturunkan hingga berada pada rentang 1,4–2,5 kg/m<sup>3</sup>. Akan tetapi, dengan menggunakan nilai MLSS air limbah tersebut akan relatif jauh lebih kecil dari nilai MLSS kriteria desain yang ada untuk proses lumpur aktif dengan tipe *extended aeration*, yaitu 2–5 kg/m<sup>3</sup>.

Berikut ini adalah perhitungan BOD loading (*organic loading*) & BOD-MLSS loading proses pengolahan;

- $$\text{Organic loading} = \frac{S_0 \cdot Q}{V} = \frac{0,3 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot 350 \text{ m}^3 / \text{day}}{510 \text{ m}^3}$$

$$\text{Organic loading} = 0,206 \text{ kg BOD}_5 / \text{m}^3 \cdot \text{day}$$
- $$\text{BOD - MLSS loading} = \frac{S_0 \cdot Q}{MLSS \cdot V} = \frac{0,3 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot 350 \text{ m}^3 / \text{day}}{2,5 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot 510 \text{ m}^3}$$

$$\text{BOD - MLSS loading} = 0,0824 \text{ kg BOD}_5 / \text{kg MLSS} \cdot \text{day}$$

Hasil perhitungan dari nilai loading tersebut di atas sesuai dengan nilai loading kriteria desain yang biasa diterapkan untuk proses pengolahan lumpur aktif *extended aeration* (*organic loading* = 0,16–0,4; BOD-MLSS loading = 0,04–0,10). Perhitungan BOD-MLSS loading tersebut juga dapat digunakan untuk mengontrol proses dalam bak aerasi bila terjadi beban organik limbah masuk dengan kadar yang tinggi. Caranya ialah dengan menyesuaikan kandungan MLSS dengan nilai BOD air limbah melalui pengontrolan sirkulasi lumpur aktif ke saluran inlet limbah. Selanjutnya, berikut ini akan dilakukan perhitungan kembali dimensi bak aerasi untuk mengetahui kelayakannya terhadap kenaikan debit yang mungkin akan terjadi. Dengan mengacu pada desain bak aerasi di lapangan, yaitu:

**W = 4 meter   L = 8,325 meter   H = 4,5 m (freeboard: 50–90 cm)**

Dengan menggunakan ukuran freeboard paling kecil, yaitu 50 cm, maka didapatkan volume per bak aerasi maksimum, yaitu:

$$\forall_{maksimum} = W \times L \times H$$

$$\forall_{maksimum} = 4 \text{ m} \times 8,325 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 133,2 \text{ m}^3$$

Maka, total volume keseluruhan (4 bak aerasi) adalah 532,8 m<sup>3</sup>. Dengan menggunakan volume air limbah yang diolah sebesar 532,8 m<sup>3</sup>, maka bak aerasi yang digunakan harus siap untuk di desain ulang dengan dimensi yang lebih besar agar dapat mengolah kenaikan debit yang terjadi. Untuk kondisi saat ini, ukuran bak aerasi masih dapat digunakan untuk mengolah debit influent air limbah sebesar 350 m<sup>3</sup>/hari, akan tetapi bila volume air limbah di bak aerasi sudah mencapai maksimum, maka perlu dilakukan desain ulang. Nilai debit air limbah influent yang dapat menyebabkan volume air limbah pada bak aerasi mencapai nilai maksimum dapat dihitung dari rumus berikut;

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

Sehingga mendapatkan perhitungan debit sebagai berikut;

$$Q = \frac{\forall x(1 + k_d \theta_c)}{\theta_c Y(S_0 - S)}$$

Dengan menggunakan parameter-parameter desain yang sama dengan yang telah dijelaskan sebelumnya, dan volume air limbah dalam kondisi maksimum, yaitu 532,8 m<sup>3</sup> (dibulatkan kebawah menjadi 530 m<sup>3</sup>), maka didapatkan debit maksimum yang dapat diolah dengan dimensi bak aerasi yang ada sebesar:

$$Q = \frac{530 \text{ m}^3 \times 2,5 \text{ kg} / \text{m}^3 (1 + 0,04 \text{ day}^{-1} \cdot 36 \text{ day})}{36 \text{ day} \times 0,8 \text{ kg} / \text{kg} (0,3 - 0,005) \text{ kg} / \text{m}^3} = 380,532 \text{ m}^3 / \text{day}$$

$$Q \approx 385 \text{ m}^3 / \text{day}$$

Maka dari itu, bila terjadi kenaikan debit influent air limbah diatas 385 m<sup>3</sup>/hari perlu dilakukan desain ulang dimensi bak aerasi agar pengolahan limbah cair dapat terus berlangsung dengan baik.

### 5.2.2 Proses Pada Unit Sedimentasi

Sebagaimana dijelaskan pada bab sebelumnya, bahwa bak sedimentasi yang digunakan pada pengolahan di STP ini memiliki bentuk tipe prisma segitiga terbalik pada bagian bawahnya (dasar bak). Untuk tiap 1 bak sedimentasi terdapat 2 bagian prisma segitiga terbalik. Lumpur yang terkumpul pada bagian dasar bak selanjutnya dipompa keluar menuju saluran resirkulasi lumpur sebagai *activated sludge* atau ke bak penampung lumpur sebagai *wasted sludge*.

Berikut ini ialah hasil analisis BOD<sub>5</sub> & COD air limbah olahan dari bak sedimentasi saat aerator tidak berfungsi karena kerusakan blower (sampel air limbah diambil pada tanggal 1/12/2010) yang menunjukkan peningkatan bila dibandingkan dengan kadar BOD<sub>5</sub> & COD di titik outlet bak aerasi (dekat dengan lubang *overflow* bak aerasi).

Tabel 5.4 Hasil Analisis Kimia Fisik Pada Outlet Bak Aerasi & Sedimentasi

Titik Sampel	TSS (mg/L)	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	COD (mg/L)
Bak Aerasi 1 Outlet	27,25	37,25	116,98
Bak Aerasi 2 Outlet	15,25	27,85	95,41
Bak Sedimentasi Outlet	17,50	60,27	177,09

Sumber: Hasil Analisis Laboratorium

Dari nilai tersebut didapati bahwa kerusakan yang terjadi pada alat-alat pengolahan air limbah sangat mempengaruhi efisiensi pengolahan unit. Peningkatan BOD & COD pada outlet bak sedimentasi dapat terjadi karena minimnya suplai oksigen dari bak aerasi. Peningkatan tersebut juga dapat dipengaruhi oleh penumpukan lumpur di dasar bak yang hanya dibuang selama 1 tahun sekali. Kondisi yang terjadi pada tumpukan lumpur yang terlalu lama mengendap tersebut dapat meningkatkan kebutuhan oksigen air limbah karena metabolisme lumpur yang ada. Selanjutnya, berikut ini adalah perhitungan-perhitungan yang digunakan untuk desain pengolahan lumpur. Parameter yang digunakan menggunakan nilai parameter desain yang telah dipaparkan sebelumnya.

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

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

$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{350 \text{ m}^3 / \text{d} \times 0,8 \text{ kg} / \text{kg}(0,3 - 0,005) \text{ kg} / \text{m}^3}{510 \text{ m}^3 \cdot 2,5 \text{ kg} / \text{m}^3} - 0,037 = 0,027784 \text{ day}^{-1}$$

$$\theta_c = 35,9915 \text{ day} \approx 36 \text{ day}$$

2. Perhitungan massa & volume lumpur yang harus dibuang per harinya;

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

$$Q_w \cdot X_u = \frac{V \cdot x}{\theta_c} = \frac{510 \text{ m}^3 \cdot 2,5 \text{ kg} / \text{m}^3}{36 \text{ day}} = 35,42 \text{ kg} / \text{day}$$

$$Q_w = \frac{35,42 \text{ kg} / \text{day}}{8 \text{ kg} / \text{m}^3} = 4,4275 \text{ m}^3 / \text{day}$$

Di STP terdapat 4 *submersible sludge pump* untuk memompa lumpur dari dasar bak sedimentasi. Pompa tersebut juga dapat digunakan untuk resirkulasi lumpur aktif. Nilai pengaliran lumpur untuk masing-masing pompa setiap harinya menuju bak penampung lumpur adalah:

$$Q_{\text{pompa lumpur}} = \frac{4,4275 \text{ kg} / \text{day}}{4} = 1,106875 \text{ m}^3 / \text{day} \approx 1,2 \text{ m}^3 / \text{day} \approx 833 \text{ cm}^3 / \text{min}$$

3. Perhitungan kebutuhan oksigen dengan menggunakan nilai SRT;

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

$$O_2 \text{ demand} = 1,47(0,3 - 0,005)\text{kg} / \text{m}^3 \cdot 350 \text{ m}^3 / \text{day} - 1,15(2,5 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot 510 \text{ m}^3 / 36 \text{ day})$$

$$O_2 \text{ demand} = 111,0483 \text{ kg} / \text{day} \approx 115 \text{ kg} / \text{day}$$

Maka, debit udara yang dibutuhkan adalah:

$$Q_{\text{udara}} = \frac{\text{kebutuhan } O_2}{0,232(1,20) \cdot \eta}$$

$$Q_{\text{udara}} = \frac{115 \text{ kg} / \text{day}}{0,232(1,20) \cdot 0,1} = 4130,747126 \text{ m}^3 / \text{day} \approx 4135 \text{ m}^3 / \text{day}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total kebutuhan udara desain} &= 4135 \text{ m}^3/\text{d} \\
 &= 2,872 \text{ m}^3/\text{min} \text{ untuk 4 bak aerasi} \\
 &= 0,718 \text{ m}^3/\text{min} \text{ per bak aerasi}
 \end{aligned}$$

Dengan kembali melakukan pengecekan 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, maka didapatkan nilai sebagai berikut;

$$\begin{aligned}
 \text{Suplai volume udara per kg BOD}_5 \text{ yang disisihkan} &= \frac{4135 \text{ m}^3 / \text{d}}{(0,3 - 0,005) \text{ kg} / \text{m}^3 \times 350 \text{ m}^3 / \text{d}} \\
 &= 40,05 \text{ m}^3 / \text{kg} \\
 \text{Suplai volume udara per kg m}^3 \text{ air limbah yang diolah} &= \frac{4135 \text{ m}^3 / \text{d}}{350 \text{ m}^3 / \text{d}} \\
 &= 11,81 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \\
 \text{Suplai volume udara (m}^3 \text{ per hari per m}^3 \text{ volume bak aerasi)} &= \frac{4135 \text{ m}^3 / \text{d}}{510 \text{ m}^3} \\
 &= 8,11 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \cdot \text{d}
 \end{aligned}$$

Berikut ini adalah perhitungan desain sistem difuser aerasi;

Pemilihan tipe difuser;

Sesuai dengan kondisi di lapangan, digunakan difuser dengan tipe *non-porous tube*, dengan jumlah *tube* pada masing-masing bak aerasi ialah sebanyak 4 buah (total 16 buah *tube* pada seluruh bak aerasi).

Suplai udara pada masing-masing *tube difuser* adalah;

$$\text{Suplai udara} = \frac{2,872 \text{ m}^3 / \text{min}}{16} = 0,1795 \text{ m}^3 / \text{min} / \text{tube}$$

Untuk tiap *tube* terdapat 8 *orifice*, maka suplai udara untuk masing-masing *orifice* adalah  $= 0,1795 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{tube}^{-1} / 8 \text{ tube} = 0,02244 \text{ m}^3/\text{min}$

Terdapat perbedaan nilai kebutuhan oksigen untuk proses aerasi di seluruh bak aerasi antara perhitungan menggunakan nilai SOR dengan nilai SRT, dengan nilai Q<sub>udara SOR</sub> = 2430 m<sup>3</sup>/hari, sedangkan nilai Q<sub>udara SRT</sub> = 4135 m<sup>3</sup>/hari, dengan debit pengaliran udara pada *orifice difuser* didapatkan hasil sebesar 0,0132 m<sup>3</sup>/min untuk perhitungan dengan menggunakan nilai SOR dan 0,0224 m<sup>3</sup>/min untuk perhitungan dengan menggunakan nilai SRT.

4. Perhitungan *return sludge rate*;

$$MLSS(Q + Q_r) = TSS_{sludge} \times Q_r \quad (\text{dari persamaan 2.16})$$

$$\begin{aligned} MLSS(Q + Q_r) &= TSS_{sludge} \times Q_r \\ 2500 \text{ mg / L} \cdot (350 + Q_r) \text{ m}^3 / \text{d} &= 8000 \text{ mg / L} \times Q_r \\ Q_r &= 159,09 \text{ m}^3 / \text{day} \approx 160 \text{ m}^3 / \text{day} \end{aligned}$$

Di STP terdapat 4 *submersible sludge pump* untuk memompa lumpur dari dasar bak sedimentasi. Nilai pengaliran lumpur untuk masing-masing pompa setiap harinya menuju saluran resirkulasi lumpur aktif sampai di saluran inlet adalah:

$$Q_{pompa \text{ lumpur}} = \frac{160 \text{ kg / day}}{4} = 40 \text{ m}^3 / \text{day} = 462,96 \text{ cm}^3 / \text{s}$$

Jika dilihat kembali pada perhitungan nilai pengaliran lumpur yang harus dibuang per hari (*wasted sludge*), didapatkan hasil yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai pengaliran 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:

$$\frac{Q_r}{Q} = \frac{160 \text{ m}^3 / \text{d}}{350 \text{ m}^3 / \text{d}} \times 100\% = 45,71\%$$

## 5.2.3 Proses Pada Unit Klorinasi &amp; Outlet Limbah

Telah dijelaskan pada bab gambaran umum, bahwa unit klorinasi ini sangat jarang digunakan sebagai tempat proses disinfeksi karena tidak dilakukan injeksi klor secara rutin (hanya pada saat dibutuhkan saja). Bila injeksi dilakukan, klor akan dimasukkan pada titik inlet bak klorinasi, lalu pencampuran klor dilakukan dengan mekanisme aliran pada baffle di unit. Akan tetapi, saat dilakukan analisis terhadap kandungan klorida ( $\text{Cl}^-$ ) pada unit ini didapatkan nilai sebesar 45 mg/L

pada saat aerator masih berfungsi (sampel air limbah diambil pada tanggal 28/10/2010) dan 57,60 mg/L pada saat aerator tidak berfungsi karena kerusakan blower (sampel air limbah diambil pada tanggal 1/12/2010). Dari nilai klorida tersebut selanjutnya dihitung kandungan klorin sisa/residunya dalam bentuk  $OCI^-$ , berikut ini adalah perhitungannya;

Pada saat aerator berfungsi:

$$\text{Konsentrasi } Cl^- = 45 \text{ mg/L} = 0,045 \text{ gr/L} = \frac{0,045 \text{ gr}}{35,5 \frac{\text{gr}}{\text{mol} \cdot \text{L}}} = 1,2676 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

Dilakukan perhitungan menggunakan persamaan reaksi kesetimbangan klorin dalam air, maka;

$$Cl_2 + H_2O \rightleftharpoons HOCl + H^+ + Cl^-$$

Mula-Mula	$1,2676 \times 10^{-3}$	-	0	0	0
Reaksi	$1,2676 \times 10^{-3}$	-	$x$	0	$1,2676 \times 10^{-3}$
Sisa	0	-	$x$	0	$1,2676 \times 10^{-3}$

$$x = \text{konsentrasi } HOCl = \frac{Mr_{HOCl^{-1}}}{Mr_{Cl^{-1}}} \times \text{konsentrasi } Cl^{-1}$$

$$x = \text{konsentrasi } HOCl = \frac{52,5}{35,5} \times 1,2676 \times 10^{-3} \text{ mol/L} = 1,8746 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

Dilakukan perhitungan lanjutan dengan menggunakan persamaan reaksi kesetimbangan  $HOCl$ , maka;

$$HOCl \rightleftharpoons H^+ + OCI^-$$

Mula-Mula	$1,8746 \times 10^{-3}$	0	0
Reaksi	$1,8746 \times 10^{-3}$	0	$y$
Sisa	0	0	$y$

$$y = \text{konsentrasi } OCI^{-1} = \frac{Mr_{OCI^{-1}}}{Mr_{HOCl}} \times \text{konsentrasi } HOCl$$

$$y = \text{konsentrasi } OCI^{-1} = \frac{51,5}{52,5} \times 1,8746 \times 10^{-3} \text{ mol/L} = 1,8389 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

maka, konsentrasi  $OCI^{-1}$  (klorin residu) yang didapatkan ialah  
 $= 1,8389 \times 10^{-3} \text{ mol/L} \times 51,5 \text{ gr/mol} = 0,0947 \text{ gr/L} = \mathbf{94,70 \text{ mg/L}}$

Pada saat aerator tidak berfungsi:

$$\text{Konsentrasi } Cl^- = 57,6 \text{ mg/L} = 0,0576 \text{ gr/L} = \frac{0,0576 \text{ gr}}{35,5 \text{ gr/mol} \cdot L} = 1,6225 \times 10^{-3}$$

mol/L

Dilakukan perhitungan menggunakan persamaan reaksi kesetimbangan klorin dalam air, maka;

	$Cl_2$	+	$H_2O$	$\rightleftharpoons$	$HOCl$	+	$H^+$	+	$Cl^-$
Mula	$1,6225 \times 10^{-3}$		-		0		0		0
Reaksi	$1,6225 \times 10^{-3}$		-		$x$		0		$1,6225 \times 10^{-3}$
Sisa	0		-		$x$		0		$1,6225 \times 10^{-3}$

$$x = \text{konsentrasi } HOCl = \frac{Mr_{HOCl^{-1}}}{Mr_{Cl^{-1}}} \times \text{konsentrasi } Cl^{-1}$$

$$x = \text{konsentrasi } HOCl = \frac{52,5}{35,5} \times 1,6225 \times 10^{-3} \text{ mol/L} = 2,3995 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

Dilakukan perhitungan lanjutan dengan menggunakan persamaan reaksi kesetimbangan HOCl, maka;

	$HOCl$	$\rightleftharpoons$	$H^+$	+	$OCl^-$
Mula	$2,3995 \times 10^{-3}$		0		0
Reaksi	$2,3995 \times 10^{-3}$		0		$y$
Sisa	0		0		$y$

$$y = \text{konsentrasi } OCl^{-1} = \frac{Mr_{OCl^{-1}}}{Mr_{HOCl}} \times \text{konsentrasi } HOCl$$

$$y = \text{konsentrasi } OCl^{-1} = \frac{51,5}{52,5} \times 2,3995 \times 10^{-3} \text{ mol/L} = 2,3588 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

maka, konsentrasi  $OCl^{-1}$  (klorin residu) yang didapatkan ialah

$$= 2,3588 \times 10^{-3} \text{ mol/L} \times 51,5 \text{ gr/mol} = 0,1215 \text{ gr/L} = \mathbf{121,5 \text{ mg/L}}$$

Pada dasarnya, unit klorinasi yang diterapkan pada instalasi pengolahan air limbah digunakan untuk mengurangi efek bakteriologis effluent air olahan

terhadap badan air penerima. Namun, unit ini akan lebih krusial dan penting untuk dioperasikan dalam STP bila air limbah hasil olahan tersebut 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).

Setelah melewati unit klorinasi, selanjutnya air limbah ditampung pada bak penampung air limbah olahan. Air di dalam bak ini tidak menerima perlakuan apapun, misalnya seperti penambahan zat kimia, pencampuran (*mixing*), dan sebagainya. Air limbah tersebut hanya ditampung untuk kemudian dipompa dengan 2 pompa ke bak kontrol dan dialirkan ke danau buatan. Akan tetapi, kualitas dari air limbah di dalam bak penampung tersebut akan terpengaruh bila terjadi permasalahan pada pompa, misal bila pompa tidak berfungsi selama sehari-hari. Bila kerusakan pada pompa tersebut bersamaan dengan menurunnya kinerja pada STP, maka kualitas air olahan dari waktu yang lama akan tercampur dengan air olahan yang baru. Hasil analisis kualitas fisik dan kimia air limbah di bak penampung air limbah (outlet) STP 1 dapat dilihat pada tabel 5.5. Sampel air limbah olahan diambil pada 2 waktu yang berbeda, yaitu pada saat aerator masih berfungsi (28/10/2010) dan saat aerator tidak berfungsi (1/12/2010).

Dari hasil analisis tersebut didapati kandungan fosfat yang tinggi pada effluent air limbah yang mengindikasikan terganggunya proses pengolahan pada STP. Hal tersebut dapat disebabkan oleh masuknya air limbah influent dengan kadar fosfat yang tinggi. Pada dasarnya fosfat sangat dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam proses pengolahan limbah secara biologi untuk mensintesis materi sel yang baru. Namun, saat materi organik dalam air limbah yang akan distabilisasi berada dalam kadar yang rendah, maka mikroorganisme yang dibutuhkan untuk menstabilkan materi organik tersebut hanya “menggunakan” senyawa fosfat yang ada sebagai nutrient juga dalam kadar yang rendah, sedangkan kandungan fosfat yang tersisa terbuang dalam effluent air limbah. Permasalahan tersebut dapat dikontrol dengan menambah kandungan materi organik dalam air limbah dengan menyesuaikan nilai *return sludge rate* sehingga F/M rasio tidak terlalu rendah. Atau cara lainnya ialah melalui

pengurangan kandungan fosfat dalam influent limbah dengan mengurangi pemakaian deterjen.

Tabel 5.5 Hasil Analisis Air Limbah Di Outlet

Parameter	Kandungan (mg/L)	Baku Mutu <sup>*)</sup> (mg/L)
TSS	14	100
Amonium-N	21	2
Total Nitrogen	35,53	-
Nitrogen Organik	14,53	-
Nitrit	10	1
Nitrat	2,2	-
Fosfat	35	0,5
BOD <sub>5</sub>	28,15	20
COD	91,24 <sup>**)*)</sup>	30
Minyak Lemak	0,70	1,0
pH	6,74	6,0 – 8,5

<sup>\*)</sup>KepGub DKI No.582/1995

<sup>\*\*)\*)</sup>dianalisis saat aerator tidak berfungsi

Sumber: Hasil Analisis Laboratorium

### 5.3 STP 2

Proses pengolahan di STP 2 menggunakan metode pengolahan lumpur aktif. Akan tetapi, karena kecilnya kapasitas pengolahan (rata-rata debit harian = 35 m<sup>3</sup>/hari) dan tidak dilakukannya rencana desain yang memadai pada saat awal pembangunannya, maka perhitungan detil tentang STP 2 ini tidak dilakukan. Untuk selanjutnya, akan dijelaskan secara singkat mengenai karakteristik limbah domestik di inlet STP 2 dan hasil olahan yang dapat dicapai di STP 2. Berikut ini adalah kualitas fisik kimia air limbah di STP 2 (sampel air limbah diambil pada tanggal 1/12/2010);

Tabel 5.6 Hasil Analisis Air Limbah Di STP 2

Parameter	Inlet (mg/L)	Tipikal Limbah Domestik (mg/L)	Outlet (mg/L)	Baku Mutu <sup>*)</sup> (mg/L)
TSS	53,25	100 – 350	6,75	100
Amonium-N	103	12 – 50	64	2
Total Nitrogen	168,23	20 – 85	66,74	-
Nitrogen Organik	65,23	8 – 35	2,74	-
Nitrit	-	0	5	1
Nitrat	-	0	1,9	-
Fosfat	40	6 – 20	24,2	0,5
BOD <sub>5</sub>	26,86	100 – 300	97,98	20
COD	264,79	200 – 500	40,77	30
Minyak Lemak	1,51	20 <sup>**)</sup>	0,34	1,0
pH	7 – 8	6,5 – 9,0	7 – 8	6,0 – 8,5

<sup>\*)</sup>KepGub DKI No.582/1995

<sup>\*\*)</sup>Baku Mutu (Pergub DKI 122/2005)

Sumber: Hasil Analisis Laboratorium

Sebagaimana karakteristik air limbah inlet pada STP 1, air limbah inlet pada STP 2 juga bersumber dari kegiatan domestik, seperti kegiatan toilet (kotoran & urin manusia) dan kegiatan dapur/pantry. Namun, dapat dilihat pada tabel untuk hasil analisis kimia fisik air limbah inlet, bahwa dari keseluruhan parameter yang ada, untuk parameter amonium, total nitrogen, organik nitrogen, dan fosfat berada dalam kadar yang sangat tinggi dan melebihi tipikal kadar karakteristik air limbah domestik.

Tingginya kadar total nitrogen disebabkan oleh tingginya kadar amonia dan organik nitrogen dalam air limbah. Tingginya kadar organik nitrogen bersumber dari materi urea yang berasal dari urin atau feses manusia. Kandungan organik nitrogen tersebut akan cepat berubah menjadi amonia bila terdapat cukup mikroorganisme untuk melangsungkan reaksinya. Selanjutnya, kadar amonia yang tinggi, yaitu sebesar 103 mg/L menandakan terjadi denitrifikasi nitrit menjadi amonia dalam kondisi anaerob. Proses denitrifikasi tersebut dimungkinkan terjadi

pada bak penampung air limbah (sampil) yang berada pada jaringan pipa pengumpul air limbah gedung Blok VII menuju STP 2. Akibat debit air limbah yang rendah, maka air limbah tertampung di sampil dengan kondisi rendah oksigen dalam rentang waktu yang lama, sehingga memungkinkan proses denitrifikasi terjadi.

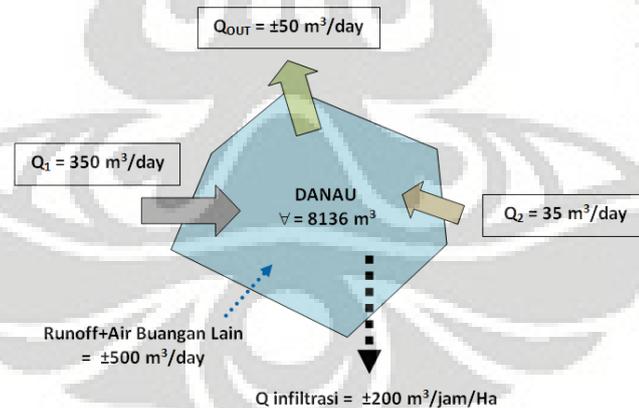
Dalam hal efisiensi pengolahan, STP 2 baik dalam penyisihan kandungan TSS (87,3%), amonium-N (37,9%), total nitrogen (60,3%), organik nitrogen (95,8%), fosfat (39,5%), COD (84,6%), dan minyak lemak (77,5%) (dapat dilihat lebih lengkap pada tabel di atas). Namun, dengan tingkat efisiensi penyisihan yang baik untuk parameter-parameter tersebut, nilai kualitas air limbah olahan untuk parameter amonium, total nitrogen, dan fosfat masih didapati dalam kadar yang tinggi (masih termasuk dalam tipikal kualitas baku mutu limbah cair domestik).

Permasalahan lain yang ditemui pada STP 2 sama dengan STP 1 dalam hal penanganan lumpur, yaitu pembuangannya dilakukan dalam rentang waktu yang sangat lama, sekitar 1 tahun sekali. Hal ini meningkatkan umur lumpur sehingga kinerja pengolahan air limbah tidak optimal. Didapatinya peningkatan kadar BOD air limbah di effluent juga dapat disebabkan oleh kondisi lumpur tersebut, sehingga nilai F/M ratio pada bak aerasi menjadi rendah akibat kandungan MLSS pada bak aerasi yang tinggi. Sistem aerasi di STP 2 ini tidak terjadi permasalahan pada saat dilakukan penelitian, sehingga difuser dalam bak aerasi berfungsi dengan baik. Akan tetapi, permasalahan ditemukan pada kipas ventilasi (*ventilator fan*) yang digunakan untuk mengalirkan udara bersih ke ruangan STP 2. Kipas ventilasi yang terdapat di STP 2 berjumlah 2 unit, 1 unit untuk mengalirkan udara dari luar ke dalam ruangan STP, dan 1 unit lainnya digunakan untuk mengalirkan udara dari dalam ke luar ruangan STP. Permasalahan terjadi pada saat kipas ventilasi yang mengalirkan udara dari luar ke dalam ruangan STP tidak berfungsi. Hal tersebut menyebabkan ruangan STP 2 berbau karena blower yang digunakan untuk mengoperasikan aerator terdapat di dalam ruang STP itu sendiri, sehingga udara diambil dari dalam ruangan STP. Udara yang berbau tidak baik untuk proses aerasi karena minimnya kandungan oksigen dalam udara tersebut, dan akibatnya ialah terjadi peningkatan kadar amonia pada efluent air

limbah. Pada dasarnya, bila kedua *ventilator fan* tetap berfungsi dengan baik, udara dari blower belum cukup maksimal untuk mengalirkan udara bersih, karena ruang STP 2 yang cukup kecil dan kecepatan pengaliran udara blower lebih tinggi daripada *ventilator fan*, sehingga di dalam ruang STP 2 kurang didapati udara kaya oksigen.

#### 5.4 Analisis Output Limbah

Setelah mengalami proses pengolahan di STP, selanjutnya air limbah dialirkan ke danau untuk dipurifikasi secara alami. Selain air limbah, air limpasan hujan juga dialirkan masuk ke danau. Air limbah yang diolah secara alami di danau dapat mengalami penguapan, infiltrasi ke dalam tanah, atau melimpah terbuang ke saluran drainase kota menuju kali terdekat (Kali Grogol). Namun, dalam kondisi kering hingga normal yang biasa terjadi pada air danau ialah penguapan dan infiltrasi ke dalam tanah, dan hanya dalam kondisi volume atau debit air danau yang besar (biasanya pada musim hujan), maka air danau akan melimpah ke saluran drainase. Berikut ini adalah perhitungan untuk menentukan waktu tinggal (*residence time*) air di danau;



Gambar 5.1 Skema Perhitungan *Residence Time* Danau

Sumber: Hasil Olahan

Dengan  $Q \text{ infiltrasi} = 200 \text{ m}^3/\text{jam.Ha}$  dan luas danau =  $\pm 1356 \text{ m}^2$ , maka:

$$Q \text{ inf iltrasi} = 200 \text{ m}^3 / \text{jam.Ha} \times 0,1356 \text{ Ha} = 27,12 \text{ m}^3 / \text{jam}$$

$$Q \text{ inf iltrasi} = 650,88 \text{ m}^3 / \text{hari}$$

Maka, perhitungan *residence time* danau ( $\tau_{\text{air danau}}$ ) dengan mengabaikan faktor evaporasi di permukaan danau, adalah sebagai berikut:

$$\tau_{\text{air danau}} = \frac{V}{Q} = \frac{8136 \text{ m}^3}{(350 + 35 - 650,88 + 500 - 50) \text{ m}^3 / \text{hari}} = 44,19 \text{ hari}$$

Didapatkan nilai waktu tinggal air danau adalah:  $\pm 45$  hari.

Secara umum, air limbah yang telah diolah di STP akan mengalami proses pengenceran setelah masuk ke danau karena tercampur dengan volume air danau yang lebih besar. Namun, bila terjadi penurunan kinerja pada STP 1 & 2 dalam waktu yang lama, sehingga menyebabkan kualitas air olahan limbah yang buruk, maka kualitas air di danau tersebut dapat tercemar. Akan tetapi, saat ini telah dioperasikan aerator seperti air mancur yang tersebar di beberapa titik di area danau, sehingga sirkulasi air di dasar danau dan kandungan oksigen air danau dapat ditingkatkan. Dari kondisi tersebut, kualitas hasil olahan air limbah dari STP dapat distabilkan lebih baik dengan proses yang terjadi di danau setelah dioperasikan aerator-aerator. Hasil analisis kimia dan fisik yang dilakukan pada air danau dapat dilihat pada tabel 5.7 (sampel air danau diambil pada tanggal 1/11/2010).

Sampling air danau dilakukan secara komposit pada beberapa titik yang tersebar di seluruh area danau. Komposit I merupakan sampel air danau yang diambil antara pukul 10.30–11.30, sedangkan Komposit II merupakan sampel air danau yang diambil antara pukul 13.15–14.15. Kedua sampel tersebut diambil dekat dengan permukaan danau ( $\pm 20$  cm di bawah permukaan air danau). Dasar pertimbangan pengambilan waktu sampel tersebut adalah untuk mengetahui perbedaan yang terjadi pada kualitas air danau antara sebelum dan sesudah puncak terik matahari yang merupakan saat berlangsungnya proses fotosintesis. Akan tetapi, dari kurun waktu pengambilan sampel tersebut, baik pada sampel Komposit I maupun II, keduanya termasuk dalam rentang waktu saat terik matahari cukup untuk melangsungkan proses fotosintesis. Maka dari itu, hasil analisis yang didapatkan tidak jauh berbeda.

Tabel 5.7 Hasil Analisis Kimia Fisik Air Danau

Parameter	Komposit I (mg/L)	Komposit II (mg/L)	Baku Mutu <sup>*)</sup> (mg/L)
TSS	24	16	100
Amonium-N	4	1	2
Total Nitrogen	6,54	5,35	-
Nitrogen Organik	2,54	4,35	-
Nitrit	13	10	1
Nitrat	3,9	3,8	-
Fosfat	1,61	4,25	0,5
BOD <sub>5</sub>	0	4,33	20
COD	**)	64	30
Minyak Lemak	0,17	0,13	1,0
pH	6,50	7,20	6,0 – 8,5

<sup>\*)</sup>KepGub DKI No.582/1995

<sup>\*\*)</sup>hasil analisis tidak representatif

Sumber: Hasil Analisis Laboratorium

Dapat dilihat dari hasil kandungan nitrit & nitrat yang tinggi pada air danau, baik pada sampel Komposit I & II mengindikasikan terjadinya proses nitrifikasi pada danau karena kandungan oksigen yang ada mendukung proses tersebut terjadi. Kandungan minyak & lemak air danau berada pada kadar yang kecil karena limbah hasil aktivitas di gedung yang mengandung kadar minyak & lemak yang tinggi telah diolah dengan unit grease trap. Hasil olahan air limbah di unit grease trap sendiri memiliki kandungan minyak & lemak sebesar 2,71 mg/L, sehingga sudah memenuhi standar baku mutu untuk dibuang langsung ke danau. Selanjutnya, untuk kadar BOD, pH, dan TSS air danau berada dalam batas normal standar baku mutu, walaupun pada saat analisis TSS air danau banyak didapatkan alga berwarna hijau yang tersangkut pada kertas saring/filter, sehingga meningkatkan nilai TSS.

Namun, yang perlu untuk diperhatikan lebih lanjut ialah pada kadar fosfat & COD air danau, karena keduanya berada diatas standar baku mutu yang

ditetapkan. Kandungan fosfat yang sedikit melebihi standar baku mutu yang ditetapkan mengindikasikan masih terdapat deterjen dalam air danau. Bila kandungan fosfat tersebut jauh melebihi ambang batas kondisi air danau, maka dapat menyebabkan eutrofikasi pada air danau karena fosfat akan menyediakan banyak nutrient bagi perkembangan alga di danau.

Selanjutnya, untuk kandungan COD yang dianalisis hanya pada sampel Komposit II nilainya berada diatas standar baku mutu yang ditetapkan. Hal tersebut mengindikasikan masih terdapat senyawa organik yang perlu untuk disisihkan dalam air limbah sebelum masuk ke danau. Senyawa organik dalam air danau dapat bersumber dari sabun & deterjen yang kemungkinan digunakan pada aktivitas di dalam Gedung Manggala Wanabakti dan tidak terolah dengan sempurna di STP. Senyawa organik lainnya dapat bersumber dari sisa makanan dengan kandungan protein atau asam amino yang tinggi yang terbuang pada *grease trap* karena *grease trap* tersebut hanya menyisihkan minyak dan lemak, sedangkan untuk pencucian daging yang menyisakan darah masih mengandung kadar organik yang tinggi. Lalu, untuk kadar amonium air limbah didapatkan hasil yang sedikit melebihi standar baku mutu pada sampel Komposit I, sedangkan untuk sampel Komposit II didapatkan kandungan amonium yang lebih rendah dari standar baku mutu. Dalam kondisi anaerob, kandungan amonium yang berlebih dapat disebabkan oleh terjadinya proses denitrifikasi nitrit menjadi amonia oleh bakteri. Akan tetapi, dengan sampel air limbah yang diambil dengan kondisi kaya akan oksigen kandungan amonia sebesar 4 mg/L bisa terjadi akibat fluktuasi konsentrasi nitrogen yang terjadi di danau secara alami.

## BAB 6 PENUTUP

### 6.1 Kesimpulan

#### 6.1.1 Hasil Evaluasi Input Pengolahan Air Limbah

1. Antara tahun 1983–2010 terjadi peningkatan debit timbulan air limbah sebesar  $\pm 100\%$ .
2. Debit influent air limbah yang terhitung pada saat penelitian untuk STP 1 adalah  $\pm 318,75 \text{ m}^3/\text{hari}$ . Bila debit influent tersebut mencapai  $>385 \text{ m}^3/\text{hari}$  diperlukan perubahan desain unit pengolahan di STP karena telah melampaui kapasitasnya.
3. Efluent air limbah dari *grease trap* Restoran Nelayan berpotensi meningkatkan kandungan COD pada danau.
4. *Grinder* yang tidak berfungsi pada bak pembagi air mengurangi kandungan BOD influent air limbah masuk ke STP 1 dan mengganggu kinerja dalam bak aerasi.
5. Peningkatan beban influent air limbah yang bersumber dari urin dan feses, serta kandungan sabun dan deterjen dapat meningkatkan kadar total nitrogen, nitrogen organik, amonia, dan fosfat dalam influent air limbah.
6. Sampah-sampah yang dibuang sembarangan lewat saluran pembuangan air limbah dapat menghambat kinerja pada proses pengolahan di STP.

#### 6.1.2 Hasil Evaluasi Proses Pengolahan Limbah

1. Tidak berfungsinya blower untuk mengalirkan udara ke aerator, rusaknya sebagian besar pompa resirkulasi lumpur, dan rendahnya frekuensi pembuangan lumpur mengakibatkan kegagalan proses pengolahan limbah karena efisiensi pengolahan menjadi berkurang.
2. Dengan kondisi seluruh alat-alat pengolah limbah dalam keadaan baik (tidak rusak), dan parameter-parameter proses pengolahan yang ada memenuhi kriteria desain, maka:

- a. debit udara untuk aerasi yang dibutuhkan ialah sebesar  $\pm 4.135 \text{ m}^3/\text{hari}$ ;
  - b. debit pembuangan lumpur (*wasted sludge*) per hari-nya ialah  $4,43 \text{ m}^3/\text{hari}$ , sehingga masing-masing *submersible sludge pump* (4 unit) harus mampu membuang lumpur dengan debit sebesar  $1,2 \text{ m}^3/\text{hari}$  atau  $833 \text{ cm}^3/\text{menit}$ ;
  - c. debit resirkulasi lumpur aktif per hari-nya ialah  $160 \text{ m}^3/\text{hari}$ , sehingga masing-masing *submersible sludge pump* (4 unit) harus mampu mengalirkan lumpur resirkulasi dengan debit sebesar  $40 \text{ m}^3/\text{hari}$  atau  $462,96 \text{ cm}^3/\text{detik}$ ;
  - d. rasio F/M ialah 0,0824;
  - e. nilai umur lumpur ialah 36 hari;
  - f. waktu tinggal hidrolis bak aerasi adalah 35 jam.
3. Kandungan MLSS yang rendah dan berbeda-beda pada seluruh bak aerasi.
  4. Didapati lumpur yang mengapung di permukaan bak sedimentasi dapat meningkatkan kandungan TSS pada effluent air olahan.
  5. Unit klorinasi belum digunakan secara optimal untuk desinfeksi.
  6. Suplai udara blower yang tidak bersih dapat menyebabkan tingginya kadar amonia pada effluent air limbah di STP 2.

### 6.1.3 Hasil Evaluasi Output Pengolahan Air Limbah Di Danau

1. Pemakaian yang tinggi terhadap sabun atau deterjen di dalam gedung ditambah dengan tidak efisiennya pengolahan limbah di STP dapat meningkatkan kandungan *nutrient*, sehingga berpotensi menimbulkan eutrofikasi pada danau.
2. Kapasitas aerator yang kecil kurang dapat menambah kandungan DO pada air di danau.
3. Volume yang terdapat pada danau memungkinkan untuk digunakan kembali (*reuse*) sebagai air baku air bersih untuk kebutuhan air dalam aktivitas gedung, akan tetapi kualitasnya masih perlu ditingkatkan melalui peningkatan operasional & *maintenance* STP & danau.

## 6.2 Saran

1. Memperbaiki kembali aliran influent limbah dari bak pembagi air ke bak aerasi sehingga debit influent limbah sama.
2. Bila tidak memungkinkan dilakukan perbaikan pada *grinder*, maka diupayakan ada mekanisme homogenisasi limbah sebelum masuk ke STP.
3. Meningkatkan debit resirkulasi lumpur dan pembuangan lumpur dengan mengaktifkan kembali pipa resirkulasi yang tidak berfungsi.
4. Mengontrol dosis klorin yang digunakan disesuaikan dengan baku mutu koliform yang ditetapkan untuk badan air penerima.
5. Melakukan pengukuran rutin terhadap kandungan DO & MLSS pada bak aerasi lalu menyesuaikannya dengan nilai F/M rasio & umur lumpur agar dapat dilakukan langkah koreksi terhadap proses pengolahan yang berlangsung.
6. Menggunakan ruang khusus untuk blower yang terpisah dari ruang STP agar blower mendapatkan suplai udara yang lebih bersih.
7. Mengoperasikan aerator yang dapat dikontrol kapasitasnya di danau, sehingga bila terjadi beban limbah yang tinggi masuk ke dalam danau, maka dapat ditingkatkan pula proses pengolahan di danau.
8. Mengurangi ketergantungan pemakaian air bersih dari suplai air PAM yang digunakan untuk aktivitas domestik atau sebagai air pendingin AC sentral dan menggantikannya dengan penggunaan *reuse* air limbah.
9. Perlu dilakukan penyesuaian suhu influent air limbah agar proses pengolahan di *grease trap* Restoran Nelayan berjalan efisien.
10. Mengalirkan efluent air limbah dari *grease trap* Restoran Nelayan menuju ke STP 1 untuk mengurangi kandungan organik di dalam air limbahnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amirin, Tatang M. (1990). *Menyusun Rencana Penelitian*. Jakarta: Rajawali.
- Davis, Mackenzie L. & Masten, Susan J. (2004). *Principles Of Environmental Engineering And Science*. America: McGraw-Hill.
- Dunih. BeritaJakarta.Com (Oktober, 2008). “131 Gedung di Jaksel Penuhi Syarat IPAL”.  
<[http://www.beritajakarta.com/2008/id/berita\\_print.asp?nNewsId=30973](http://www.beritajakarta.com/2008/id/berita_print.asp?nNewsId=30973)>
- Keller, Jürg & Yuan, Zhiguo. (2002). *Integrating process engineering and microbiology tools to advance activated sludge wastewater treatment research and development*. SpringerLink, 1: 83-97.
- Keputusan Gubernur Kepala Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 582 Tahun 1995 Tentang Penetapan Peruntukan Dan Baku Mutu Air Sungai / Badan Air Serta Baku Mutu Limbah Cair Di Wilayah Daerah Khusus Ibukota Jakarta.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
- McGhee, Terence J. (1991). *Water Supply And Sewerage*. Singapore: McGraw-Hill.
- McKinney, Ross E. & O'Brien, Walter J. (1968). *Activated Sludge: Basic Design Concepts*. Journal of Water Pollution Control Federation, Vol. 40, No. 11, Part I pp. 1831-184.

Metcalf & Eddy, Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F.L., & Stensel, H.D. (2004). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse (4<sup>th</sup> ed.)*. Singapore: McGraw Hill.

Noerbambang, Soufyan Moh. & Morimura, Takeo. (1993). *Perancangan Dan Pemeliharaan Sistem Plambing*. Jakarta: Pradnya Paramita.

Peavy, Howard S. & Rowe, Donald R. (1985). *Environmental Engineering*. Singapore: McGraw-Hill.

Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 122 Tahun 2005 Tentang Pengelolaan Air Limbah Domestik Di Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta.

Peraturan Pemerintah Nomor 20 Tahun 1990 Tentang Pengendalian Pencemaran Air.

Puspita, L., Ratnawati, E., Suryadiputra, INN., & Meutia, AA. (2005). *Lahan Basah Buatan Di Indonesia*. Bogor: Wetlands International-Indonesia – IP.

Qasim, Syed R. (1985). *Wastewater Treatment Plants Planning, Design, and Operations*. USA: CBS College Publishing.

Reynolds, Tom D. & Richards, Paul A. (1995). *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering (2<sup>nd</sup> ed.)*. USA: International Thompson Publishing.

Ririn Sjafriani. Republika Online (April, 2010). “Sebagian Besar Air Sungai di Jakarta Tergolng Pencemaran Berat”.  
<<http://www.republika.co.id/berita/breaking-news/metropolitan/10/04/09/110350-sebagian-besar-air-sungai-di-jakarta-tergolong-pencemaran-berat>>

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

Séka, M. A. & Hammes, F. (2003). *Predicting The Effects of Chlorine On The Microorganisms of Filamentous Bulking Activated Sludges*. SpringerLink, 61:562-568.

Sekretariat Jenderal Departemen Kesehatan RI. (2008). Draft Pedoman Teknis Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Dengan Sistem Aeraobik Lumpur Aktif Pada Fasilitas Pelayanan Kesehatan.

SNI 03-7065-2005 Tentang Cara Perencanaan Sistem Plambing.

Stukenberg, John R. & Rodman, Leonard C. (1983). *Activated Sludge Clarifier Design Improvements*. Journal of Water Pollution Control Federation, Vol. 55, No. 4 pp.341-348.

Suryabrata, Sumadi. (1994). *Metodologi Penelitian*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.

Universitas Indonesia (2008). *Pedoman Teknis Penulisan Tugas Akhir Mahasiswa Universitas Indonesia*.

Website Resmi Manggala Wanabakti. (Oktober 2010).  
<<http://www.manggala.or.id>>

(Website untuk gambar *rotary lobe positive displacement blower*, Bab 4, p. 85).  
Oktober 2010. <<http://www.everestblowers.com>>

(Website untuk prosedur pengawetan sampel air limbah, Lampiran 5, p. 146).  
Oktober 2010.  
<<http://extension.missouri.edu/publications/DisplayPub.aspx?P=G1895>>  
& <<http://www.uga.edu/sisbl/epatab1.html>>

Lampiran 1: Nilai Luas Penggunaan Ruang (NLPR)

Tabel 1. Nilai Luas Penggunaan Ruang (NLPR) Pada Gedung Blok I-VII Pada tahun 1983-2010

Luas Efektif	(13.953 m <sup>2</sup> )	(2.564 m <sup>2</sup> )	(148 m <sup>2</sup> )	(16.858,5 m <sup>2</sup> )	(96 m <sup>2</sup> )	(819 m <sup>2</sup> )	(12.326 m <sup>2</sup> )
TAHUN	I	II	III	IV	V	VI	VII
1983	8	15	5	8	5	30	0
1984	8	15	5	8	5	30	0
1985	8	15	5	8	5	30	0
1986	8	15	5	8	5	30	0
1987	8	15	5	8	5	30	0
1988	7	15	5	8	5	30	0
1989	7	15	5	8	5	30	8
1990	7	15	5	7	5	30	8
1991	7	15	5	7	5	30	8
1992	6	15	5	7	5	30	8
1993	6	15	5	7	5	30	8
1994	6	15	5	7	5	30	8
1995	6	15	5	7	5	30	7
1996	6	15	5	7	4	30	7
1997	5	15	5	6	4	30	7
1998	5	15	5	6	4	30	7
1999	5	15	5	6	4	30	6
2000	5	15	5	6	4	30	6
2001	4	15	5	6	4	30	6
2002	4	15	5	6	4	30	6
2003	4	15	5	6	4	30	5
2004	4	15	5	5	4	30	5
2005	4	15	5	5	4	30	5
2006	3	15	5	5	4	30	5
2007	3	15	5	5	4	30	4
2008	3	15	5	5	4	30	4
2009	3	15	5	5	4	30	4
2010	3	15	5	5	4	30	4

Sumber: Hasil Estimasi

Lampiran 2: Jumlah Populasi Pegawai

Tabel 2. Jumlah Populasi (Jiwa) Pada Gedung Blok I-VII Pada Tahun 1983-2010 Berdasarkan Perhitungan Nilai Luas Penggunaan Ruang (NLPR) dengan Luas Efektif

Luas Efektif	(13.953 m <sup>2</sup> )	(2.564 m <sup>2</sup> )	(148 m <sup>2</sup> )	(16.858,5 m <sup>2</sup> )	(96 m <sup>2</sup> )	(819 m <sup>2</sup> )	(12.326 m <sup>2</sup> )
TAHUN	I	II	III	IV	V	VI	VII
1983	1744	171	30	2107	19	27	0
1984	1744	171	30	2107	19	27	0
1985	1744	171	30	2107	19	27	0
1986	1744	171	30	2107	19	27	0
1987	1744	171	30	2107	19	27	0
1988	1993	171	30	2107	19	27	0
1989	1993	171	30	2107	19	27	1541
1990	1993	171	30	2408	19	27	1541
1991	1993	171	30	2408	19	27	1541
1992	2326	171	30	2408	19	27	1541
1993	2326	171	30	2408	19	27	1541
1994	2326	171	30	2408	19	27	1541
1995	2326	171	30	2408	19	27	1761
1996	2326	171	30	2408	24	27	1761
1997	2791	171	30	2810	24	27	1761
1998	2791	171	30	2810	24	27	1761
1999	2791	171	30	2810	24	27	2054
2000	2791	171	30	2810	24	27	2054
2001	3488	171	30	2810	24	27	2054
2002	3488	171	30	2810	24	27	2054
2003	3488	171	30	2810	24	27	2465
2004	3488	171	30	3372	24	27	2465
2005	3488	171	30	3372	24	27	2465
2006	4651	171	30	3372	24	27	2465
2007	4651	171	30	3372	24	27	3082
2008	4651	171	30	3372	24	27	3082
2009	4651	171	30	3372	24	27	3082
2010	4651	171	30	3372	24	27	3082

Sumber: Hasil olahan dari data estimasi

Lampiran 3: Nilai Debit Influent STP 1 & 2

Tabel 3. Nilai Debit Influent STP 1 & 2  
Dengan Perhitungan Jumlah Populasi Pegawai

TAHUN	Jumlah Populasi Pegawai (Jiwa)			Debit Influent Limbah Cair (m <sup>3</sup> /hari)	
	Seluruh Blok	Blok Pelayanan STP 1	Blok Pelayanan STP 2	STP 1	STP 2
1983	5639	4098	0	240	0
1984	5639	4098	0	240	0
1985	5639	4098	0	205	0
1986	5639	4098	0	205	0
1987	5639	4098	0	205	0
1988	5888	4348	0	217	0
1989	6108	4348	1541	217	77
1990	6410	4649	1541	232	77
1991	6410	4649	1541	232	77
1992	6742	4981	1541	249	77
1993	6742	4981	1541	249	77
1994	6742	4981	1541	249	77
1995	7035	4981	1761	249	88
1996	7040	4986	1761	249	88
1997	7907	5852	1761	293	88
1998	7907	5852	1761	293	88
1999	7907	5852	2054	293	103
2000	7907	5852	2054	293	103
2001	9015	6550	2054	327	103
2002	9015	6550	2054	327	103
2003	9015	6550	2465	327	123
2004	9577	7112	2465	356	123
2005	9577	7112	2465	356	123
2006	11356	8275	2465	414	123
2007	11356	8275	3082	414	154
2008	11356	8275	3082	414	154
2009	11356	8275	3082	414	154
2010	11356	8275	3082	414	154

Sumber: Hasil olahan dari data estimasi

## A. Biological Oxygen Demand (BOD)

### Metode: Titrimetri

#### 1. Peralatan dan Bahan

##### a. Peralatan

Peralatan yang digunakan terdiri atas:

- 1) lemari pendingin BOD dengan kisaran suhu  $-10^{\circ}\text{C}$ - $50^{\circ}\text{C}$  dan distabilkan pada suhu  $20^{\circ}\text{C}$  pada saat pengukuran;
- 2) botol inkubasi Winkler (botol BOD) 300 mL;
- 3) aerator;
- 4) gelas beker 2000 mL;
- 5) gelas erlenmeyer;
- 6) buret 30 mL;
- 7) pipet bergaris 1 mL;
- 8) pipet takar 50 mL;
- 9) pipet tetes;
- 10) spatula.

##### b. Bahan

Bahan kimia dan bahan lain yang digunakan dalam pengukuran ini terdiri atas:

- 1) larutan pengencer (air suling);
- 2) larutan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ );
- 3) larutan natrium thiosulfat ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ );
- 4) larutan  $\text{MnSO}_4$
- 5) larutan ioda azida;
- 6) indikator amilum.

#### 2. Cara Pengukuran

Pengukuran kadar BOD sample uji adalah dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) isi gelas beker dengan 1985 mL air suling, aerasi dengan aerator selama 1 jam hingga kandungan oksigen terlarut mencapai  $\pm 7-8$  mg/L;
- 2) pipet 15 mL sample air uji, masukkan ke dalam gelas beker yang telah terisi dengan air suling teraerasi hingga tepat 2000 mL, aduk dengan spatula hingga tercampur merata;
- 3) masukkan kedalam 2 buah botol Winkler 300 mL sampai meluap;
- 4) tutup botol Winkler, hindarkan terjadi turbulensi dengan gelembung udara selama pengisian;
- 5) masukkan 1 botol Winkler yang berisi sample ke dalam lemari pendingin bersuhu  $20^{\circ}\text{C}$ , eramkan selama 5 hari;
- 6) periksa kadar oksigen terlarut 0-hari pada 1 botol Winkler lainnya;
- 7) masukkan 1 mL larutan  $\text{MnSO}_4$  kedalam botol winkler;
- 8) masukkan 1 mL larutan ioda azida, tutup botol Winkler dan homogenkan;

- 9) tunggu selama 10 menit sampai air sample bereaksi dengan  $MnSO_4$  & ioda azida sehingga membentuk endapan;
- 10) masukkan 1 mL larutan asam sulfat, tutup botol Winkler dan homogenkan hingga berwarna kuning bening transparan dan butiran-butiran hitam yang melayang dalam larutan sample hilang;
- 11) pipet 50 mL larutan sample dalam botol Winkler ke gelas erlenmeyer;
- 12) tambahkan 1 tetes indikator amilum hingga larutan berubah menjadi biru gelap;
- 13) titrasi dengan larutan thiosulfat hingga berwarna putih bening; catat kebutuhan larutan thiosulfat;
- 14) setelah 5 hari, periksa kadar oksigen terlarut 5-hari larutan sample pada botol Winkler yang telah diaramkan (cara pengukuran sama seperti pengukuran kadar oksigen terlarut 0-hari).

### 3. Perhitungan

Perhitungan kadar BOD air limbah menggunakan rumus berikut:

$$DO \text{ (mg / L)} = \frac{a \times N \times 8 \times 1000}{V}$$

a = volume thiosulfat, mL;

N = normalitas thiosulfat;

V = volume sample, mL.

$$BOD_5^{20^\circ} = \frac{(DO_0 - DO_5)}{P}$$

P = derajat pengenceran sample

## B. Chemical Oxygen Demand (COD)

Metode: Refluks

### 1. Peralatan dan Bahan

#### a. Peralatan

Peralatan yang digunakan terdiri atas:

- 1) peralatan refluks, yang terdiri dari labu erlenmeyer, pendingin Liebig 30 cm;
- 2) hot plate atau yang setara;
- 3) labu ukur 100 mL dan 1000 mL;
- 4) buret 25 mL atau 50 mL;
- 5) pipet bergaris;
- 6) erlenmeyer 250 mL (labu refluks); dan
- 7) timbangan analitik.

#### b. Bahan

Bahan kimia dan bahan lain yang digunakan dalam pengukuran ini terdiri atas:

- 1) larutan baku kalium dikromat 0,25 N;

- 2) larutan asam sulfat – perak sulfat;
- 3) larutan indikator ferroin;
- 4) larutan ferro ammonium sulfat (FAS) 0,1 N;
- 5) serbuk merkuri sulfat, HgSO<sub>4</sub>;
- 6) batu didih.

## 2. Cara Pengukuran

Pengukuran kadar COD sample uji adalah dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) pipet 10 mL sample, masukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL;
- 2) tambahkan 0,4 gr serbuk HgSO<sub>4</sub> dan beberapa batu didih;
- 3) tambahkan 5 mL larutan kalium dikromat, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,25 N;
- 4) tambahkan 15 mL pereaksi asam sulfat – perak sulfat perlahan-lahan sambil didinginkan dalam air pendingin;
- 5) hubungkan dengan pendingin Liebig dan dididihkan di atas hot plate selama 2 jam;
- 6) dinginkan dan cuci bagian dalam dari pendingin Liebig dengan air suling hingga volume sample menjadi ± 70 mL;
- 7) dinginkan sampai temperatur kamar, tambahkan indikator ferroin 2-3 tetes, titrasi dengan larutan FAS 0,1 N sampai berwarna merah kecoklatan (merah karat), catat kebutuhan FAS;
- 8) lakukan langkah pada butir 1) sampai dengan 7) terhadap air suling sebagai blanko. Catat kebutuhan larutan FAS.

## 3. Perhitungan

Perhitungan kadar COD air limbah menggunakan rumus berikut:

$$COD (mg / L O_2) = \frac{(A - B) \times N \times 8000}{mL \text{ contoh uji}}$$

A = volume larutan FAS yang dibutuhkan untuk blanko, mL;

B = volume larutan FAS yang dibutuhkan untuk contoh, mL;

N = normalitas larutan FAS.

## C. Total Nitrogen

Metode: Kjeldahl (Destruksi-Destilasi-Titrasi)

### 1. Peralatan dan Bahan

#### a. Peralatan

Peralatan yang digunakan terdiri atas:

- 1) labu Kjeldahl 250 mL;
- 2) hot plate 2 buah;
- 3) lemari asam;
- 4) pipet bergaris 5 mL & 10 mL;
- 5) 1 set peralatan destilasi;
- 6) timbangan analitik;
- 7) buret;
- 8) erlenmeyer.

b. Bahan

Bahan kimia dan bahan lain yang digunakan dalam pengukuran ini terdiri atas:

- 1) serbuk selenium 1 gr;
- 2) larutan asam sulfat ( $H_2SO_4$ );
- 3) larutan asam borat ( $H_3BO_3$ );
- 4) larutan natrium hidroksida (NaOH);
- 5) larutan indikator conway;
- 6) batu didih.

2. Cara Pengukuran

Pengukuran kadar Total Nitrogen sample uji adalah dengan tahapan sebagai berikut:

a. Tahap Destruksi

- 1) pipet 10 mL sample, masukkan ke labu Kjeldahl 250 mL;
- 2) tambahkan 1 gr serbuk selenium;
- 3) didihkan di atas hot plate sampai uap habis  $\pm$  30 menit di dalam lemari asam;

b. Tahap Destilasi

- 1) encerkan sample yang telah didestruksi dengan air suling hingga  $\pm$  100 mL;
- 2) tambahkan 3 mL asam sulfat pekat, lalu masukkan batu didih;
- 3) pipet 10 mL asam borat ke dalam erlenmeyer;
- 4) hubungkan labu Kjeldahl berisi sample & erlenmeyer berisi asam borat dengan set peralatan destilasi;
- 5) didihkan sample dalam labu Kjeldahl di atas hot plate selama 1,5 jam, atur suhu sehingga air sample tidak meluap ke pipa penyalur uap;
- 6) masukkan NaOH 10 mL ke dalam labu Kjeldahl saat suhu belum terlalu tinggi (agar meminimalisasi reaksi ledakan dalam labu Kjeldahl);

c. Tahap Titrasi

- 1) setelah 1,5 jam, lepaskan erlenmeyer dari set destilasi, masukkan 3 tetes indikator conway ke dalam asam borat, lihat perubahan warnanya;
- 2) titrasi asam borat dengan NaOH bila perubahan warna yang terjadi adalah merah, atau titrasi dengan  $H_2SO_4$  bila perubahan warna yang terjadi adalah hijau;
- 3) catat kebutuhan NaOH atau  $H_2SO_4$ .

3. Perhitungan

Perhitungan kadar Total Nitrogen air limbah menggunakan rumus berikut:

$$\text{Organic Nitrogen (mg / L)} = \frac{N \times A \times 28}{mL \text{ sample}} \times 100\%$$

N = normalitas penitar  
A = volume penitar; mL

$$\text{Total } N(\text{mg} / \text{L}) = [0,7766 \times (\text{mg} / \text{L}) \text{ Amonium}] + \text{Organic Nitrogen}$$

#### D. Nitrat ( $\text{NO}_3^- - \text{N}$ )

Metode: Spektrofotometri

##### 1. Peralatan dan Bahan

###### a. Peralatan

Peralatan yang digunakan terdiri atas:

- 1) spektrofotometer;
- 2) gelas sample spektrofotometer.

###### b. Bahan

Bahan kimia dan bahan lain yang digunakan dalam pengukuran ini terdiri atas:

- 1) serbuk NitraVer 5 Nitrate Reagent;

##### 2. Cara Pengukuran

Pengukuran kadar nitrat sample uji adalah dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) set spektrofotometer dengan nomor program 355 lalu tekan READ/ENTER, dan atur panjang gelombang ke 500 nm lalu tekan READ/ENTER;
- 2) masukkan 25 mL sample ke dalam gelas sample;
- 3) tambahkan NitraVer ke dalam gelas sample;
- 4) tekan SHIFT TIMER pada spektrofotometer. Homogenkan larutan hingga penanda waktu berbunyi setelah 1 menit;
- 5) tekan kembali SHIFT TIMER untuk menunggu reaksi yang terjadi setelah dihomogenkan, selama 5 menit;
- 6) selama menunggu reaksi, masukkan 25 mL sample ke dalam gelas sample lain sebagai blanko;
- 7) masukkan sample blanko ke dalam cell holder setelah spektrofotometer berbunyi, tutup cell holder, lalu tekan ZERO;
- 8) keluarkan sample blanko, masukkan sample yang telah dipersiapkan sebelumnya ke dalam cell holder, tutup cell holder, lalu tekan READ/ENTER, catat hasil mg/L N  $\text{NO}_3^-$  yang didapat.

#### E. Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ )

Metode: Spektrofotometri

##### 1. Peralatan dan Bahan

###### a. Peralatan

Peralatan yang digunakan terdiri atas:

- 1) spektrofotometer;
- 2) gelas sample spektrofotometer.

b. Bahan

Bahan kimia dan bahan lain yang digunakan dalam pengukuran ini terdiri atas:

- 1) serbuk NitriVer 2 Nitrite reagent;

2. Cara Pengukuran

Pengukuran kadar nitrit sample uji adalah dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) set spektrofotometer dengan nomor program 373 lalu tekan READ/ENTER, dan atur panjang gelombang ke 585 nm lalu tekan READ/ENTER;
- 2) masukkan 25 mL sample ke dalam gelas sample;
- 3) tambahkan serbuk NitriVer ke dalam gelas sample, homogenkan hingga serbuk terlarut;
- 4) tekan SHIFT TIMER pada spektrofotometer, tunggu 10 menit, reaksi dalam larutan sample & blanko sedang berlangsung;
- 5) selama menunggu reaksi, masukkan 25 mL sample ke dalam gelas sample lain sebagai blanko;
- 6) masukkan sample blanko ke dalam cell holder setelah spektrofotometer berbunyi (setelah 10 menit), tutup cell holder, lalu tekan ZERO;
- 7) keluarkan sample blanko, masukkan sample yang telah dipersiapkan sebelumnya ke dalam cell holder, tutup cell holder, lalu tekan READ/ENTER, catat hasil mg/L  $NO_2^-$  yang didapat.

**F. Nitrogen Amonia ( $NH_3-N$ )**

Metode: Spektrofotometri

1. Peralatan dan Bahan

a. Peralatan

Peralatan yang digunakan terdiri atas:

- 1) spektrofotometer;
- 2) gelas sample spektrofotometer;
- 3) gelas ukur.

b. Bahan

Bahan kimia dan bahan lain yang digunakan dalam pengukuran ini terdiri atas:

- 1) mineral stabilizer;
- 2) polyvinyl alcohol dispersing agent;
- 3) nessler reagent;
- 4) air suling.

2. Cara Pengukuran

Pengukuran kadar Amonia-N sample uji adalah dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) set spektrofotometer dengan nomor program 380 lalu tekan READ/ENTER, dan atur panjang gelombang ke 425 nm lalu tekan READ/ENTER;

- 2) masukkan 25 mL sample ke dalam gelas sample, atau bila diperlukan, sample dapat diencerkan terlebih dahulu dengan air suling di dalam gelas ukur;
- 3) masukkan 25 mL air suling ke dalam gelas sample lainnya, sebagai blanko;
- 4) tambahkan 3 tetes Mineral Stabilizer pada sample dan blanko, homogenkan;
- 5) tambahkan 3 tetes Polyvinyl Alcohol Dispersing Agent, homogenkan;
- 6) pipet 1 mL Nessler reagent, masukkan masing-masing ke dalam blanko dan sample, homogenkan;
- 7) tekan SHIFT TIMER pada spektrofotometer, tunggu 1 menit, reaksi dalam larutan sample & blanko sedang berlangsung;
- 8) masukkan sample blanko ke dalam cell holder setelah spektrofotometer berbunyi, tutup cell holder, lalu tekan ZERO;
- 9) keluarkan sample blanko, masukkan sample yang telah dipersiapkan sebelumnya ke dalam cell holder, tutup cell holder, lalu tekan READ/ENTER, catat hasil mg/L N NH<sub>3</sub> yang didapat.

#### **G. Fosfat ( $PO_4^{3-}$ )**

Metode: Spektrofotometri

##### 1. Peralatan dan Bahan

###### a. Peralatan

Peralatan yang digunakan terdiri atas:

- 1) spektrofotometer;
- 2) gelas sample spektrofotometer;
- 3) gelas ukur.

###### b. Bahan

Bahan kimia dan bahan lain yang digunakan dalam pengukuran ini terdiri atas:

- 1) molybdovanadate reagent;
- 2) air suling.

##### 2. Cara Pengukuran

Pengukuran kadar fosfat sample uji adalah dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) set spektrofotometer dengan nomor program 480 lalu tekan READ/ENTER, dan atur panjang gelombang ke 430 nm lalu tekan READ/ENTER;
- 2) masukkan 25 mL sample ke dalam gelas sample, atau bila diperlukan, sample dapat diencerkan terlebih dahulu dengan air suling di dalam gelas ukur;
- 3) masukkan 25 mL air suling ke dalam gelas sample lainnya, sebagai blanko;
- 4) pipet 1 mL Molybdovanadate reagent, masukkan masing-masing ke dalam blanko dan sample, homogenkan;

- 5) tekan SHIFT TIMER pada spektrofotometer, tunggu 3 menit, reaksi dalam larutan sample & blanko sedang berlangsung;
- 6) masukkan sample blanko ke dalam cell holder setelah spektrofotometer berbunyi, tutup cell holder, lalu tekan ZERO;
- 7) keluarkan sample blanko, masukkan sample yang telah dipersiapkan sebelumnya ke dalam cell holder, tutup cell holder, lalu tekan READ/ENTER, catat hasil mg/L  $PO_4^{3-}$  MoV yang didapat.

## H. Klorida ( $Cl^-$ )

### Metode: Spektrofotometri

#### 1. Peralatan dan Bahan

##### a. Peralatan

Peralatan yang digunakan terdiri atas:

- 1) spektrofotometer;
- 2) gelas sample spektrofotometer;
- 3) gelas ukur.

##### b. Bahan

Bahan kimia dan bahan lain yang digunakan dalam pengukuran ini terdiri atas:

- 1) larutan Mercuric Thiocyanate;
- 2) larutan Ferric Ion;
- 3) air suling.

#### 2. Cara Pengukuran

Pengukuran kadar klorida sample uji adalah dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) set spektrofotometer dengan nomor program 70 lalu tekan READ/ENTER, dan atur panjang gelombang ke 455 nm lalu tekan READ/ENTER;
- 2) masukkan 25 mL sample ke dalam gelas sample, atau bila diperlukan, sample dapat diencerkan terlebih dahulu dengan air suling di dalam gelas ukur;
- 3) masukkan 25 mL air suling ke dalam gelas sample lainnya, sebagai blanko;
- 4) pipet 2 mL larutan Mercuric Thiocyanate, masukkan masing-masing ke dalam blanko dan sample, homogenkan;
- 5) pipet 1 mL larutan Ferric Ion, masukkan masing-masing ke dalam blanko & sample, homogenkan;
- 6) tekan SHIFT TIMER pada spektrofotometer, tunggu 2 menit, reaksi dalam larutan sample & blanko sedang berlangsung;
- 7) masukkan sample blanko ke dalam cell holder setelah spektrofotometer berbunyi, tutup cell holder, lalu tekan ZERO;
- 8) keluarkan sample blanko, masukkan sample yang telah dipersiapkan sebelumnya ke dalam cell holder, tutup cell holder, lalu tekan READ/ENTER, catat hasil mg/L  $Cl^-$  yang didapat.

## I. Total Suspended Solids (TSS)

Metode: Gravimetri

### 1. Peralatan dan Bahan

#### a. Peralatan

Peralatan yang digunakan terdiri atas:

- 1) desikator yang berisi silika gel;
- 2) oven, untuk pengoperasian pada suhu 103°C sampai dengan 105°C;
- 3) timbangan analitik;
- 4) gelas ukur;
- 5) cawan keramik (*Crucible Ceramic*);
- 6) penjepit cawan;
- 7) pinset;
- 8) pompa vaccum;
- 9) set alat filtrasi lengkap dengan pemegang filter.

#### b. Bahan

Bahan kimia dan bahan lain yang digunakan dalam pengukuran ini terdiri atas:

- 1) kertas saring (*glass-fiber filter*), dengan jenis Whatman Grade 934 AH, dengan ukuran pori (*particle retention*) 1,5 µm (*Standard for TSS in water analysis*);
- 2) air suling.

### 2. Cara Pengukuran

Pengukuran kadar Total Suspended Solids sample uji adalah dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) cawan keramik kosong yang telah dibersihkan, dipanaskan pada 105°C dalam oven selama 1 jam;
- 2) dinginkan cawan selama 15 menit dalam desikator, kemudian timbang, catat besar massa cawan;
- 3) letakkan filter fiber-glass Whatman di atas cawan yang masih berada di atas timbangan analitik, catat besar massa cawan dengan kertas saring Whatman;
- 4) tempatkan filter fiber-glass Whatman di atas alat penyaringan. Sambung dengan sistem vakum, lalu cuci filter dengan air suling sebanyak 3 kali;
- 5) masukkan 100 mL sample ke dalam gelas ukur, tuang bagian atasnya saja tanpa dihomogenkan;
- 6) pindahkan sample dari gelas ukur ke dalam alat penyaring, kemudian saring dengan vakum;
- 7) bersihkan gelas ukur dengan air suling dan masukkan air sisanya ke dalam alat penyaring sampai tanpa tersisa;
- 8) bersihkan dinding cawan penyaring dengan air suling sampai tidak ada yang tersisa, matikan vakum;
- 9) lepas alat penjepit pemegang filter & cawan penyaring, angkat filter dengan pinset lalu letakkan dalam cawan keramik;

- 10) pindahkan cawan keramik ke dalam oven dengan alat penjepit cawan, panaskan pada suhu 105°C selama 1 jam;
- 11) dinginkan selama 15 menit dalam desikator, kemudian timbang langsung, catat.

### 3. Perhitungan

Perhitungan kadar Total Suspended Solids sample uji adalah menggunakan rumus berikut:

$$\text{mg suspended solids} / L = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{sample volume, mL}}$$

A = berat residu + filter + cawan sebelum pengeringan (mg)

B = berat residu + filter + cawan setelah pengeringan (mg)

## J. Volatile Suspended Solids (VSS)

Metode: Gravimetri

### 1. Peralatan dan Bahan

#### a. Peralatan

Peralatan yang digunakan terdiri atas:

- 1) desikator yang berisi silika gel;
- 2) oven, untuk pengoperasian pada suhu 103°C sampai dengan 105°C;
- 3) tungku pembakar (*furnace muffle*);
- 4) timbangan analitik;
- 5) gelas ukur;
- 6) cawan keramik (*Crucible Ceramic*);
- 7) penjepit cawan;
- 8) pinset;
- 9) pompa vaccum;
- 10) set alat filtrasi lengkap dengan pemegang filter.

#### b. Bahan

Bahan kimia dan bahan lain yang digunakan dalam pengukuran ini terdiri atas:

- 1) kertas saring (*glass-fiber filter*), dengan jenis Whatman Grade 934 AH, dengan ukuran pori (*particle retention*) 1,5 µm (*Standard for TSS in water analysis*);
- 2) air suling.

### 2. Cara Pengukuran

Pengukuran kadar Total Nitrogen sample uji adalah dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) cawan keramik kosong yang telah dibersihkan, dipanaskan pada 105°C dalam oven selama 1 jam;

- 2) dinginkan cawan selama 15 menit dalam desikator, kemudian timbang, catat besar massa cawan;
- 3) letakkan filter fiber-glass Whatman di atas cawan yang masih berada di atas timbangan analitik, catat besar massa cawan dengan kertas saring Whatman;
- 4) tempatkan filter fiber-glass Whatman di atas alat penyaringan. Sambung dengan sistem vakum, lalu cuci filter dengan air suling sebanyak 3 kali;
- 5) masukkan 100 mL sample ke dalam gelas ukur, tuang bagian atasnya saja tanpa dihomogenkan;
- 6) pindahkan sample dari gelas ukur ke dalam alat penyaring, kemudian saring dengan vakum;
- 7) bersihkan gelas ukur dengan air suling dan masukkan air sisanya ke dalam alat penyaring sampai tanpa tersisa;
- 8) bersihkan dinding cawan penyaring dengan air suling sampai tidak ada yang tersisa, matikan vakum;
- 9) lepas alat penjepit pemegang filter & cawan penyaring, angkat filter dengan pinset lalu letakkan dalam cawan keramik;
- 10) pindahkan cawan keramik ke dalam oven dengan alat penjepit cawan, panaskan pada suhu 105°C selama 1 jam;
- 11) dinginkan selama 15 menit dalam desikator, kemudian timbang langsung, catat;
- 12) Panaskan kembali filter beserta cawan di dalam furnace pada suhu 550°C selama 15-20 menit;
- 13) Dinginkan selama 15 menit dalam desikator, kemudian timbang langsung, dan catat besar massanya.

### 3. Perhitungan

Perhitungan kadar Volatile Suspended Solids sample uji adalah menggunakan rumus berikut:

$$\text{mg volatile solids} / L = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{sample volume, mL}}$$

A = berat residu + filter + cawan sebelum pembakaran (mg)

B = berat residu + filter + cawan setelah pembakaran (mg)

## K. Minyak dan Lemak

Metode: Gravimetri

### 1. Peralatan dan Bahan

#### a. Peralatan

Peralatan yang digunakan terdiri atas:

- 1) corong pisah dengan kran teflon;
- 2) gelas destilasi 125 mL;
- 3) penangas air.

#### b. Bahan

Bahan kimia dan bahan lain yang digunakan dalam pengukuran ini terdiri atas:

- 1) asam klorida, HCl 1+1;
- 2) pelarut organik n-heksana, titik didih 69°C;
- 3) kertas saring, Whatman No. 40;
- 4) natrium sulfat, kristal Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anhidrat.

## 2. Cara Pengukuran

Pengukuran kadar minyak dan lemak sample uji adalah dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) masukkan 1 L sample air ke dalam gelas ukur, dan tambahkan HCl (1+1) sampai pH 2;
- 2) pindahkan air ke dalam corong pisah;
- 3) cuci gelas ukur dengan air suling sebanyak 30 mL;
- 4) masukkan pelarut ke dalam corong pisah berisi air sample tadi;
- 5) kocok keras selama 2 menit;
- 6) biarkan lapisan memisah;
- 7) tuangkan melalui corong yang ada kertas saring lapisan pelarut ke dalam gelas destilasi bersih yang sudah ditimbang terlebih dahulu;
- 8) jika larutan keruh tambahkan 1 g Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anhidrat;
- 9) ulangi pengocokan dengan 30 mL pelarut;
- 10) pisahkan dan masukkan lagi ke dalam labu destilasi setelah disaring dengan kertas saring;
- 11) cuci kertas saring dengan 10-20 mL pelarut dan larutan ini digabungkan ke dalam labu destilasi;
- 12) destilasikan larutan pada labu destilasi dengan penangas air 80°C sambil divakumkan selama 1-2 menit sampai semua pelarut terpisahkan;
- 13) dinginkan labu destilasi dalam desikator selama 30 menit dan timbang.

## 4. Perhitungan

Perhitungan kadar minyak dan lemak sample uji adalah menggunakan rumus berikut:

$$\text{mg minyak lemak} / L = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{sample volume, mL}}$$

A = berat gelas destilasi dan residu yang tertinggal setelah pelarut diuapkan (mg)

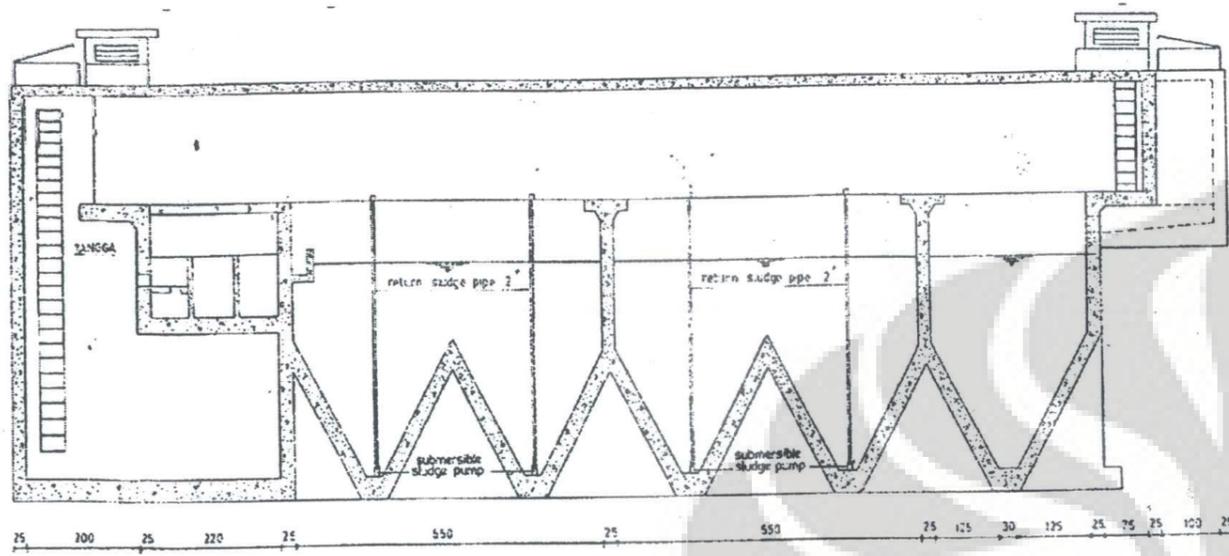
B = berat gelas destilasi bersih

### Lampiran 5: Prosedur Pengawetan Sample Air Limbah

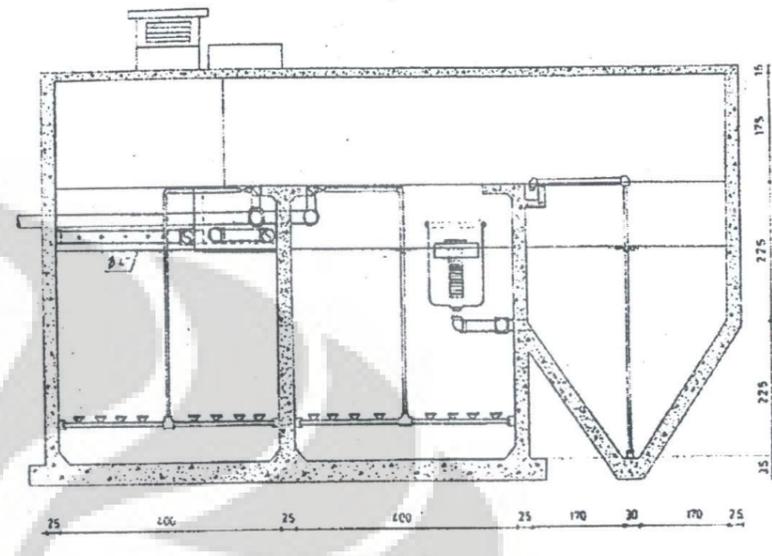
Salah satu bentuk pengelolaan air limbah adalah dalam pengambilan sample dan analisis air limbah untuk mengetahui informasi yang didapat lebih dalam mengenai sifat air limbah yang dimiliki. Informasi yang dimiliki dari sample tersebut selanjutnya dapat bernilai untuk operasional sistem pengelolaan. Jika menginginkan hasil yang akurat dari analisis air limbah yang dilakukan, maka diperlukan cara pengambilan sample dan pengawetan yang dilakukan dengan benar. Berikut ini adalah prosedur pengawetan sample air limbah yang dilakukan:

Analisis	Metedo Pengawetan	Periode Maksimum Penanganan
Total Kjeldahl Nitrogen	penambahan 0,8 mL H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> per liter sample & didinginkan pada suhu 4°C	tidak stabil
Nitrat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	penambahan 0,8 mL H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> per liter sample	7 hari
Nitrit (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	penambahan 0,8 mL H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> per liter sample	7 hari
Amonia-N	penambahan 0,8 mL H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> per liter sample & didinginkan pada suhu 4°C	7 hari
Fosfat (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	penambahan 2 mL H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> per liter sample & didinginkan pada suhu 4°C	7 hari
Klorida (Cl <sup>-</sup> )	tidak ada	28 hari
BOD	didinginkan pada suhu 4°C	6 jam
COD	penambahan 2 mL H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> per liter sample	7 hari
pH	harus diukur langsung pada lokasi pengambilan sample (sample tidak diperkenankan untuk diawetkan)	
TSS	didinginkan pada suhu 4°C	7 hari
VSS	didinginkan pada suhu 4°C	7 hari
Minyak & Lemak	penambahan 1 mL H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> per liter sample & didinginkan pada suhu 4°C	28 hari

Sumber: <http://extension.missouri.edu/publications/DisplayPub.aspx?P=G1895> & <http://www.uga.edu/sisbl/epatab1.html>

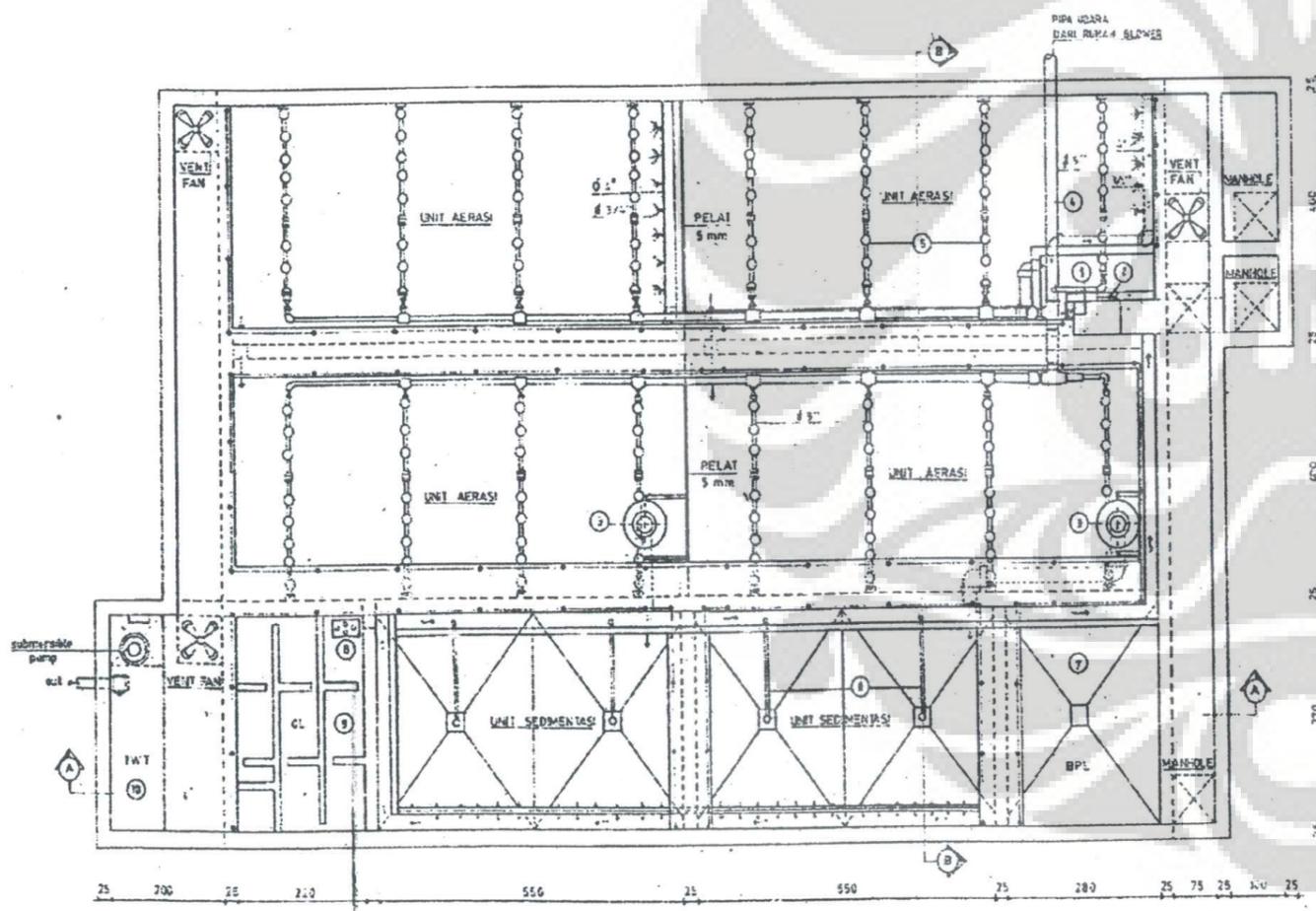


POT. A - A  
SKALA 1 : 50

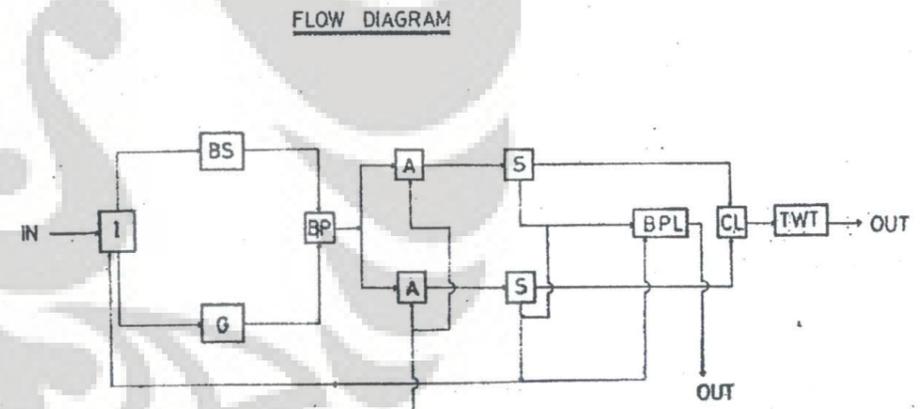


POT. B - B  
SKALA 1 : 50

- 1 Grinder
- 2 Bar Screen
- 3 Float Control (Inlet-Outlet)
- 4 Pipa Udara Utama (Header)
- 5 Pipa Udara Proses Diffuser
- 6 Pipa Desinfeksi Lumpur
- 7 Ruang Penampung Lumpur
- 8 Chlorinator
- 9 Countact Tank
- 10 Treated Water Tank



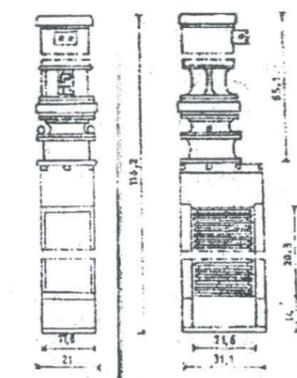
DENAH STP  
SKALA 1 : 50



FLOW DIAGRAM

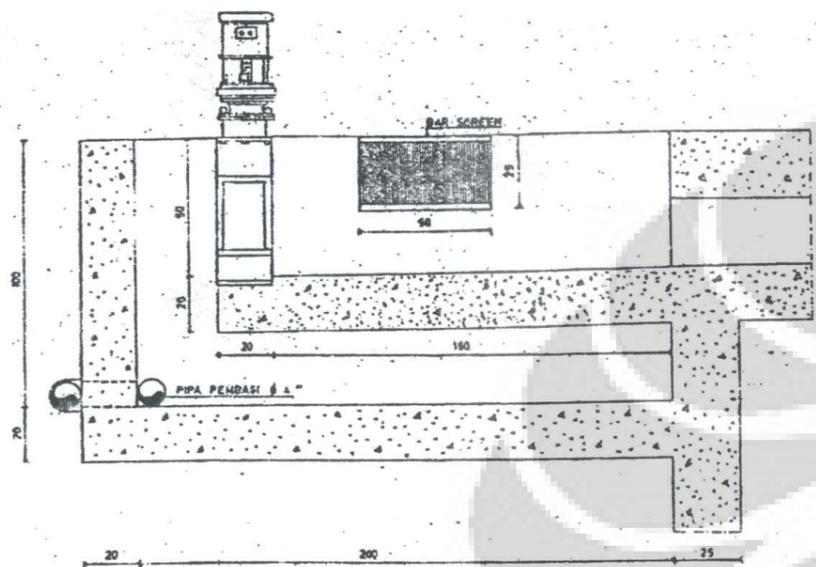
KETERANGAN :

- I - influen
- G - Grinder
- BS - Bar Screen
- BP - Bak Pembagi Air
- A - Bak Aerasi
- S - Bak Sedimentasi
- BPL - Bak Penampung Lumpur
- CL - Chlorinasi
- TWT - Treated Water Tank

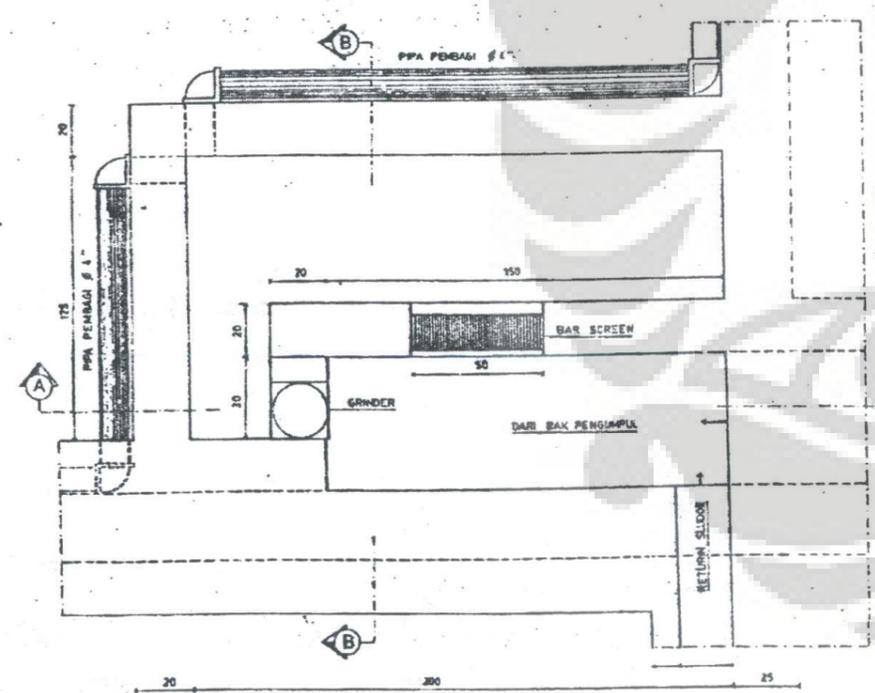


GRINDER  
SKALA 1 : 10

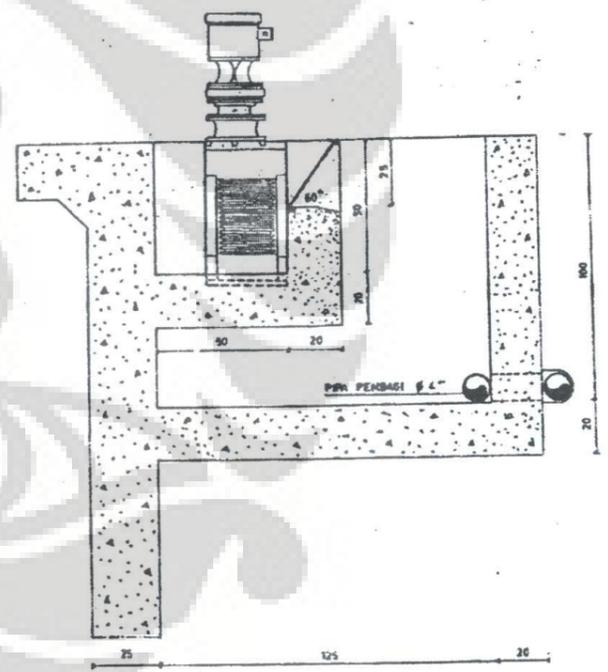
PROYEK	REHABILITASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH
JUMLAH GAMBAR	DENAH, POTONGAN DAN FLOW DIAGRAM STP
DIGAMBAR	Scale 1 : 10
DISERVISI	1 : 50
No. Gambar	161
	STP/01
KONTRAKTOR	PT. LIMA INTI UTAMA
PENYERAH TUGAS	BADAN PENGELOLA GEDUNG MANGALA WANABAKTI



POT. A-A  
SKALA 1:5



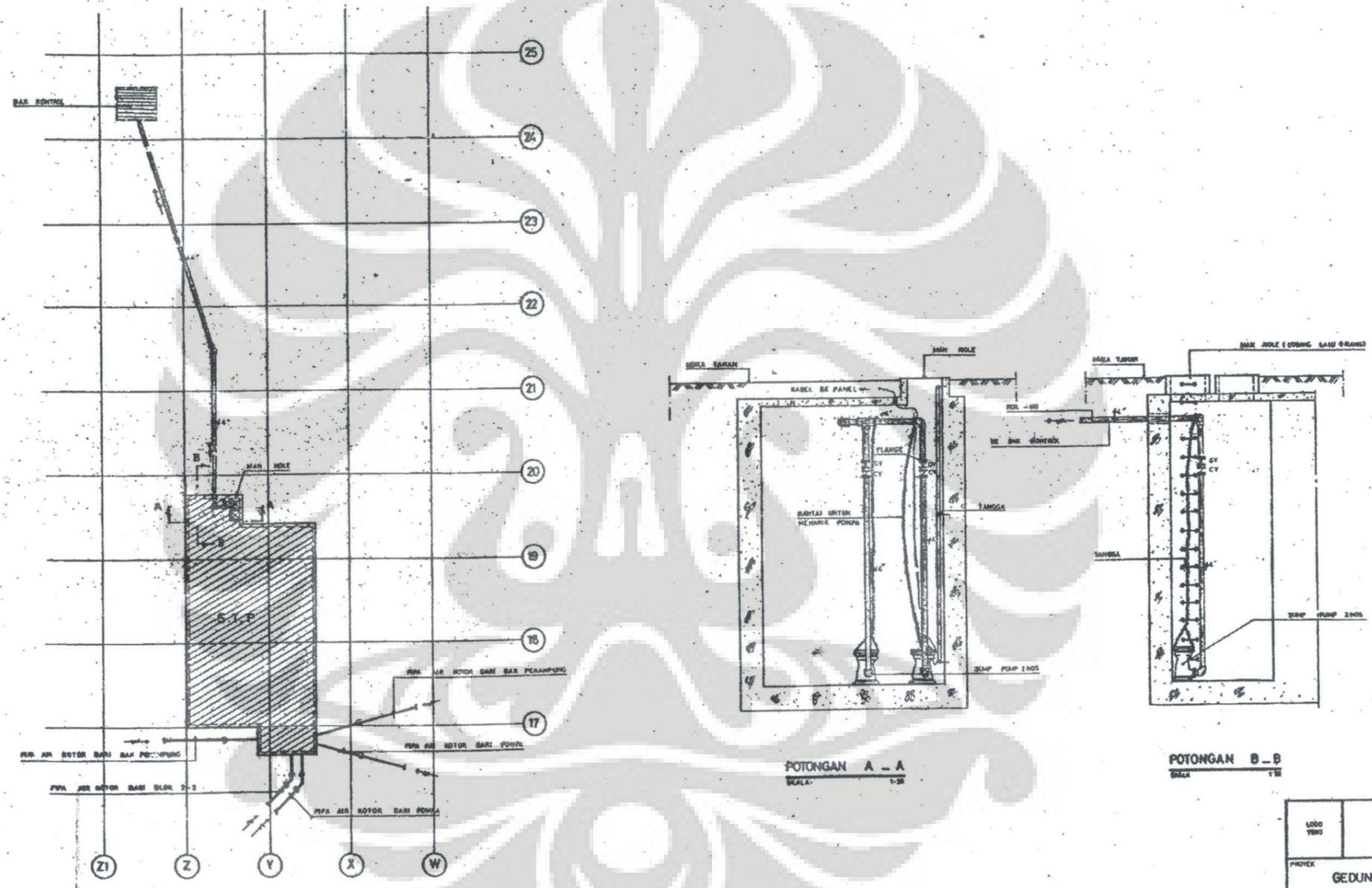
DENAH  
SKALA 1:10



POT. B-B  
SKALA 1:5

CATATAN:

PROYEK	
REHABILITASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH	
JUDUL GAMBAR	
DETAIL PENEMPATAN GRINDER DAN BAK PEMBAGI AIR	
DIBUAT OLEH	SKALA
DIPERIKSA OLEH	1:10
DISEKSI OLEH	TGL:
No. Surat	STR/02
KONTRAKTOR	
PT. LIMA INTI UTAMA	
PONDOK TIRAS	

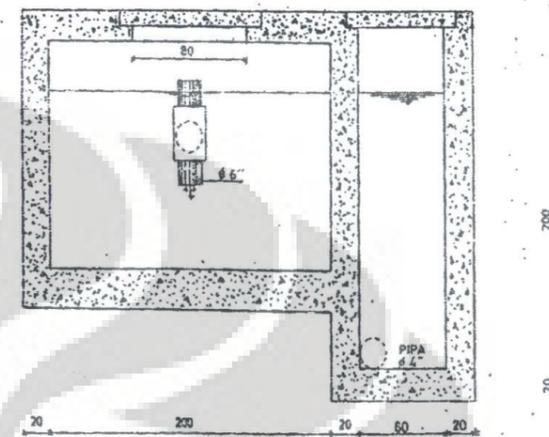
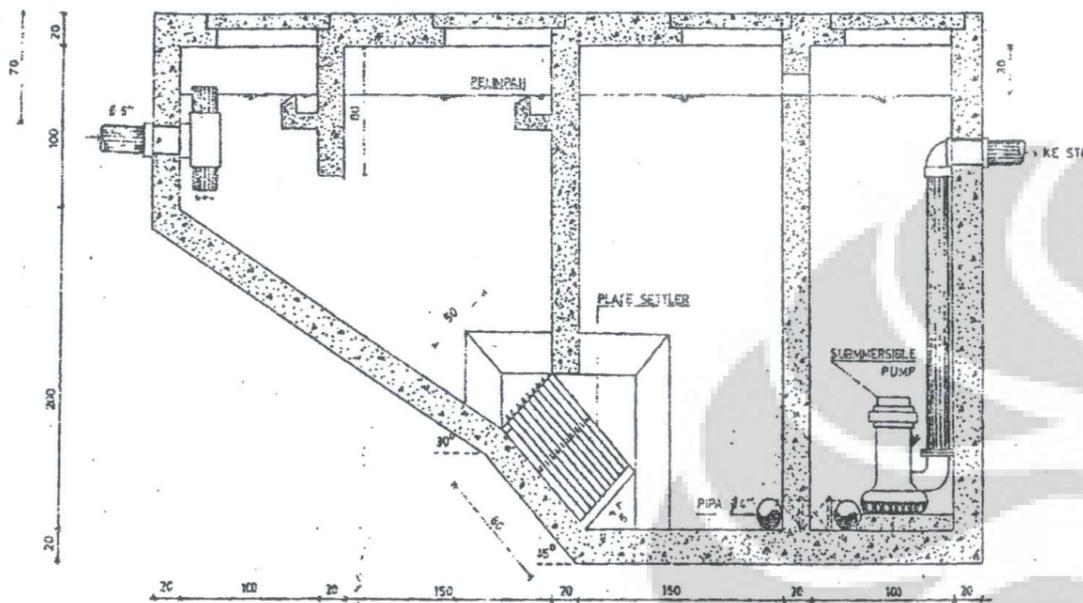


DENAH PEMBUANGAN AIR SEWAGE TREATMENT PLANT  
SKALA 1:200

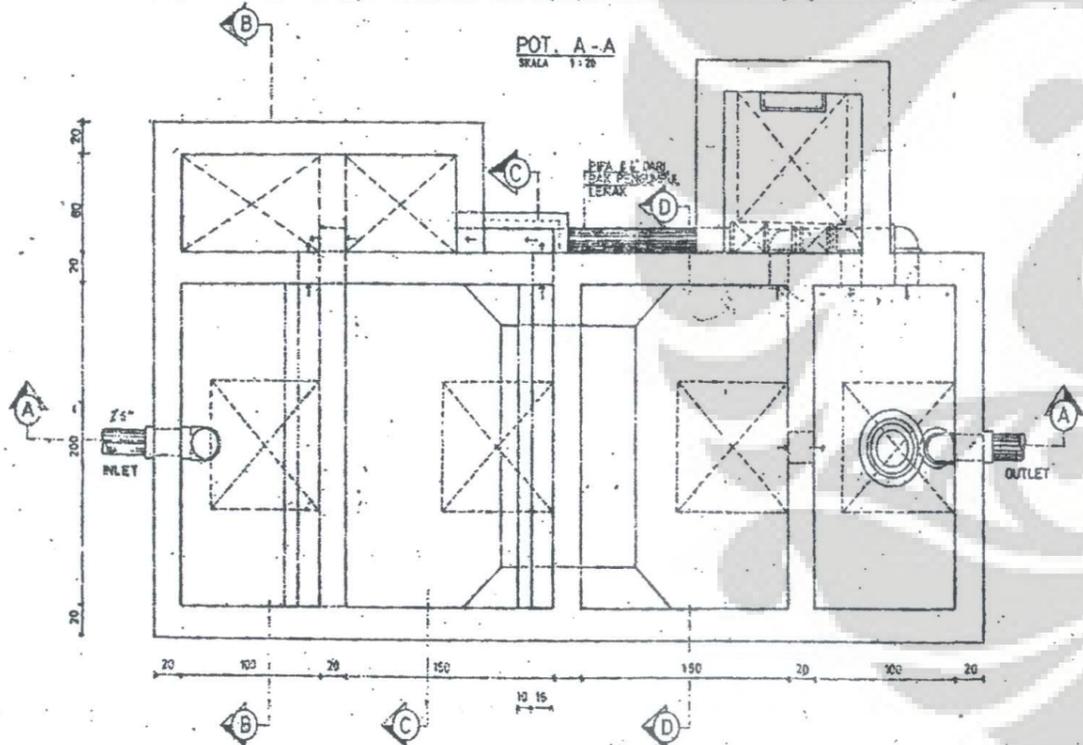
POTONGAN A - A  
SKALA 1:50

POTONGAN B - B  
SKALA 1:50

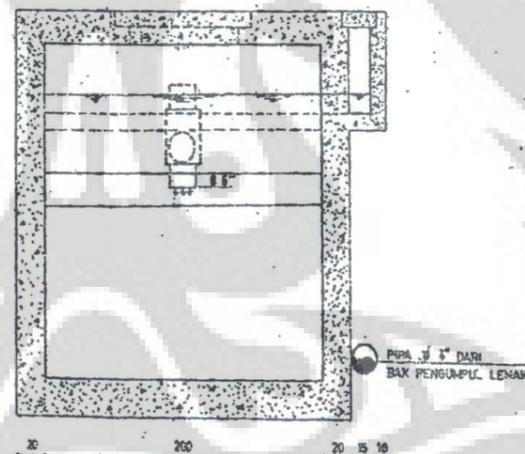
LOGO YWA	YAYASAN SARANA WANA JAYA	
PROYEK	GEDUNG PUSAT KEHUTANAN	
GAMBAR	SEBAGAIMANA DILAKSANAKAN	INSTALASI PLUMBING
JUMLAH GAMBAR	DENAH PEMBUANGAN AIR SEWAGE TREATMENT PLANT	LUAR GEDUNG
DISETUJUI OLEH :	<i>[Signature]</i>	SKALA : 1:50
DIPERIKSA OLEH :	<i>[Signature]</i>	1:200
DIGAMBAR OLEH :	<i>[Signature]</i>	25 DEPEMBER 1967
PELAKSANA	PT. JAYA TEKNIK INDONESIA	NO.000
KONTRAKTOR	PT. TRI DHARMA KARYA	PL - 09/LG



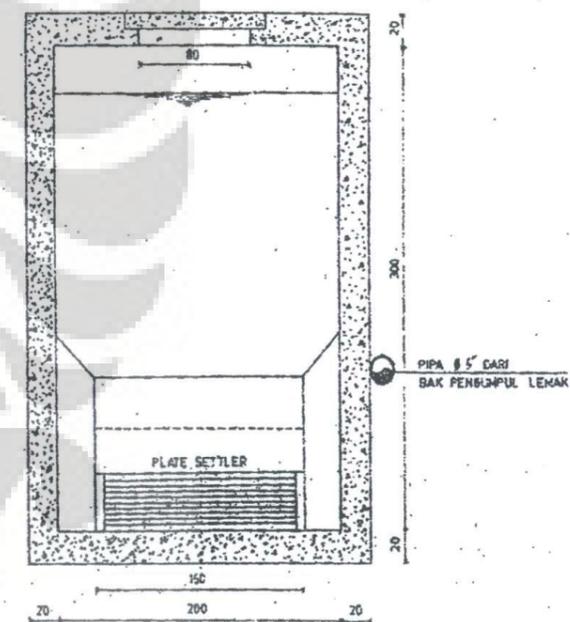
POT. B-B  
SKALA 1:20



DENAH  
SKALA 1:20

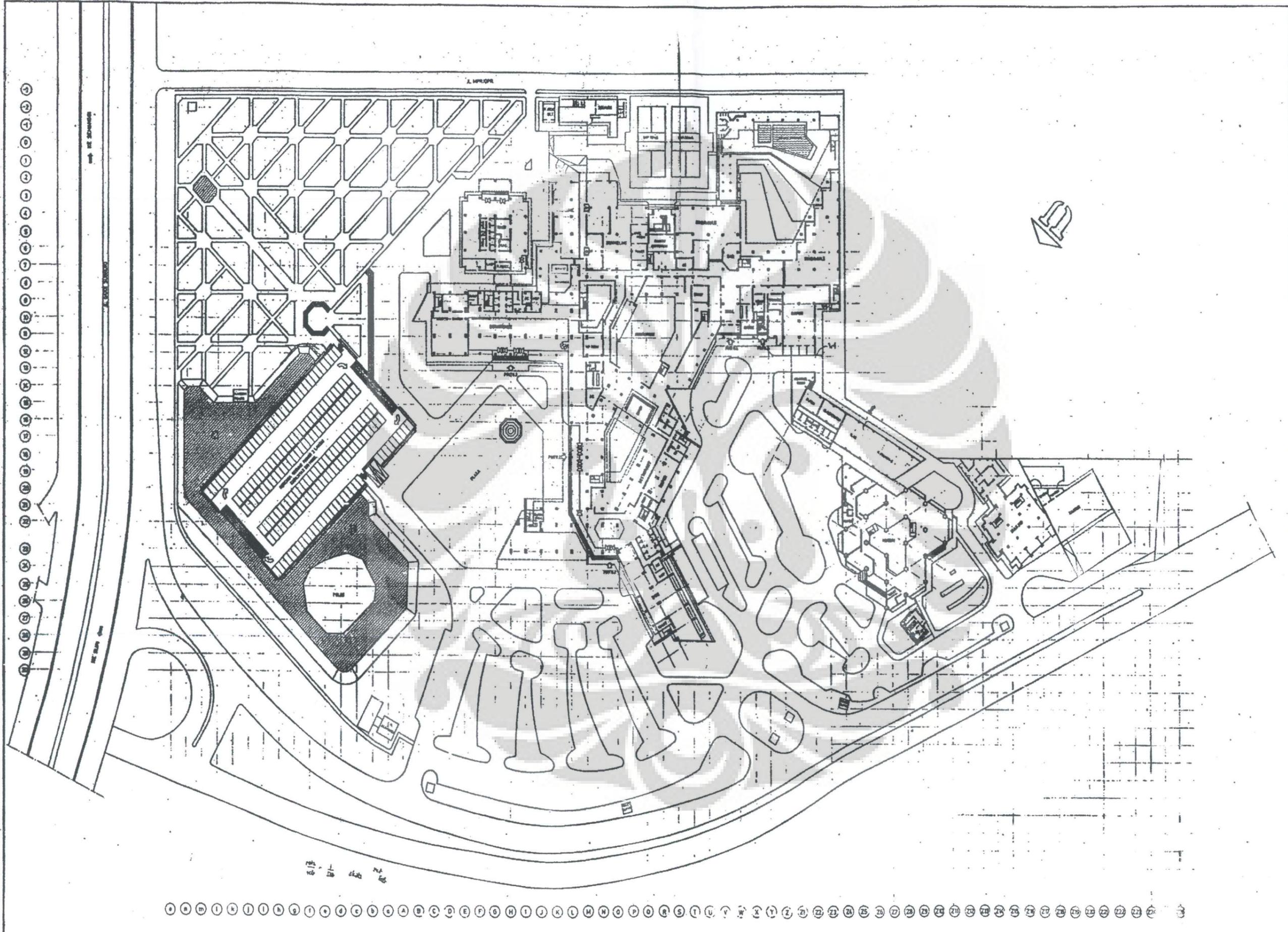


POT. C-C  
SKALA 1:20

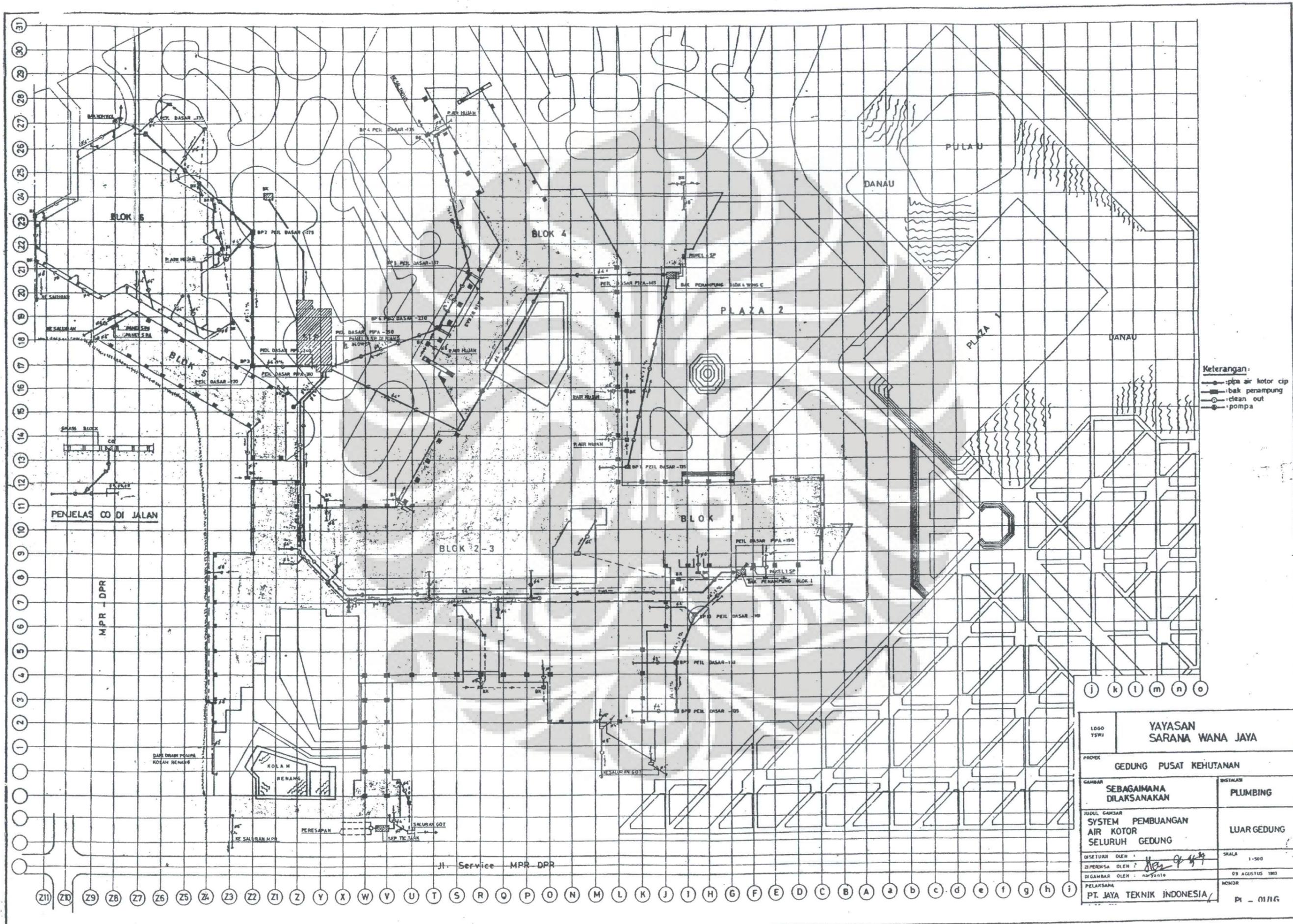


POT. D-D  
SKALA 1:20

PROYEK		REHABILITASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH	
JUDUL GAMBAR		OIL & GREASE TRAP RESTORAN NELAYAN	
DESAINBAR : GS	SKALA	1:20	
DISERVISI : [Signature]	DISETUJUI :	TGL :	
No. Gambar		STP/03	
KONTRAKTOR		PT. LIMA INTI UTAMA	
PEMERINTAH		BADAN PENGELOLA GEDUNG MANGGALA WANABAKTI	

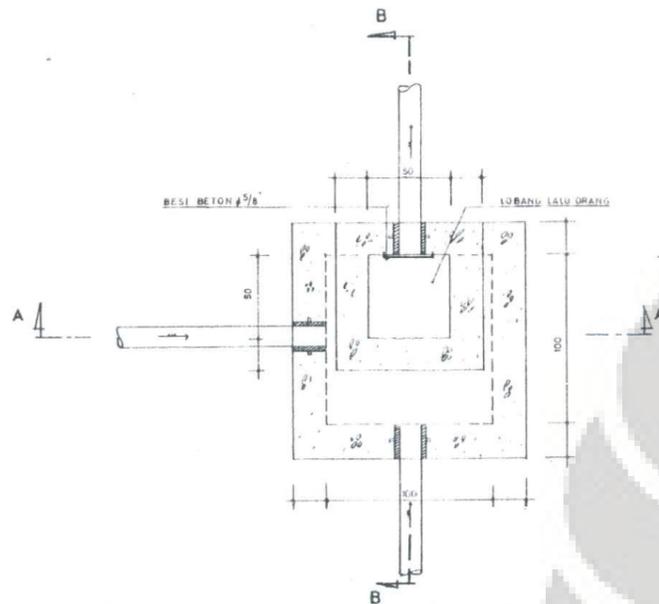


RENCANA PERENCANAAN	
NO. RENCANA	NO. SKEMA, SKEMA, SKEMA
DEKORASI LANTAI 1	
DAN GURUSAN MASJID	
NO. RENCANA	NO. SKEMA
NO. RENCANA	NO. SKEMA
NO. RENCANA	NO. SKEMA
RENCANA PERENCANAAN	
DI PLAZA UPACARA	
MANGALA WANABAKTI	

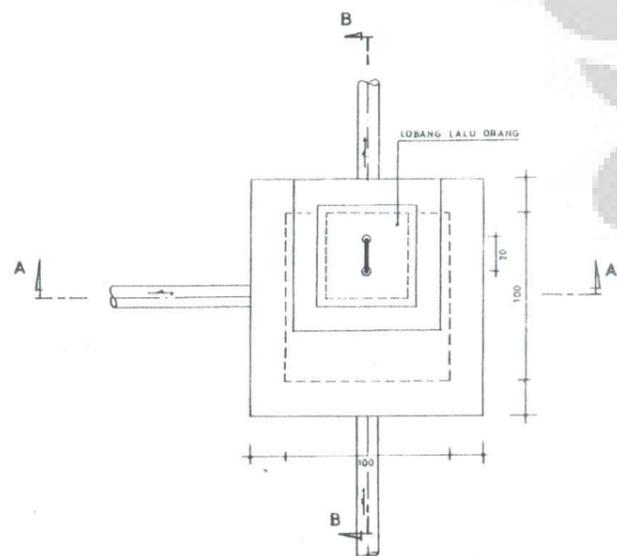


- Keterangan:
- pipa air kotor cip
  - ▭ bak penampung
  - ⊗ clean out
  - ⊙ pompa

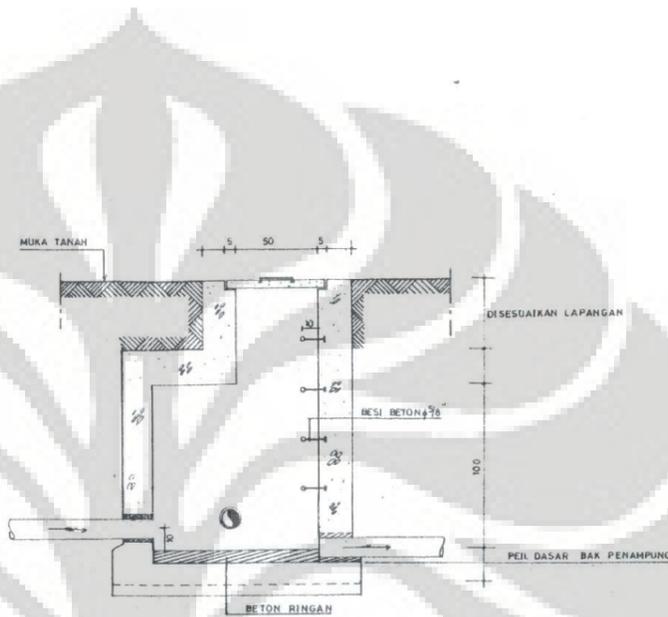
LOGO TSWJ	YAYASAN SARANA WANA JAYA	
PROJEK	GEDUNG PUSAT KEHUTANAN	
GAMBAR	SEBAGAIMANA DILAKSANAKAN	INSTALASI PLUMBING
JUDUL GAMBAR	SYSTEM PEMBUANGAN AIR KOTOR SELURUH GEDUNG	LUAR GEDUNG
DISELENGKAH OLEH	<i>[Signature]</i>	SKALA 1:500
DIGAMBAR OLEH	<i>[Signature]</i>	09 AGUSTUS 1980
PELAKSANA	PT. JAYA TEKNIK INDONESIA	NOHOR PI - 011/G



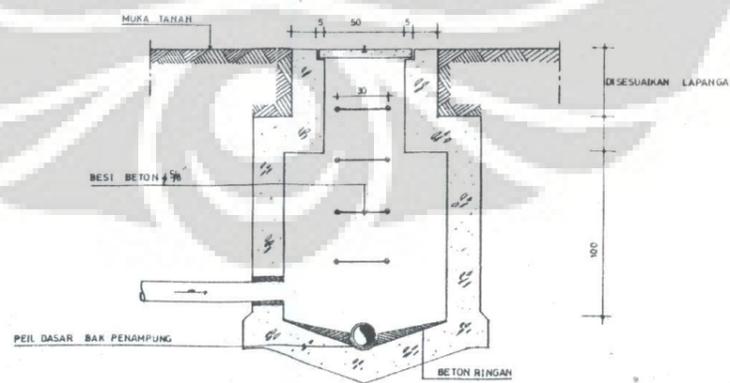
DENAH BAK PENAMPUNG  
SKALA 1:20



TAMPAK ATAS BAK PENAMPUNG



POTONGAN B-B  
SKALA 1:20



POTONGAN A-A  
SKALA 1:20

TABEL BAK PENAMPUNG

No	TYPE BAK PENAMPUNG	PEIL DASAR B P	KETERANGAN
1	B P 1	- 135	* type bak penampung semua sama
2	B P 2	- 175	
3	B P 3	- 220	
4	B P 4	- 135	* ukuran tebal dinding ditentukan oleh (SIPIL)
5	B P 5	- 187	
6	B P 6	- 210	
7	B P 7	- 135	
8	B P 8	- 135	
9	B P 9	- 152	
10	B P 10	- 169	

LOGO YSWJ	YAYASAN SARANA WANA JAYA	
PROYEK	GEDUNG PUSAT KEHUTANAN	
GAMBAR	SEBAGAIMANA DILAKSANAKAN	INSTALASI PLUMBING
JUDUL GAMBAR	DENAH & POTONGAN BAK PENAMPUNG	LUARGEDUNG
DISETUIJI OLEH		SKALA 1:20
DIPERIKSA OLEH		10 SEPTEMBER 1982
DIGAMBAR OLEH		NOMOR
PELAKSANA	PT. JAYA TEKNIK INDONESIA	PL - 02/LG
KONTRAKTOR	PT. TRI DHARMA KARYA	
GUBAH LARAS PERENCANA & PERANCANG		