



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**EVALUASI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL)  
RUMAH SAKIT (STUDI KASUS: RUMAH SAKIT ST.  
CAROLUS JAKARTA)**

**SKRIPSI**

**SEFNI YENTI  
0606078203**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
DEPOK  
JANUARI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**EVALUASI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL)  
RUMAH SAKIT (STUDI KASUS: RUMAH SAKIT ST.  
CAROLUS JAKARTA)**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik**

**SEFNI YENTI  
0606078203**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
DEPOK  
JANUARI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Sefni Yenti

NPM : 0606078203

Tanda Tangan :



Tanggal : 11 Januari 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Sefni Yenti  
NPM : 0606078203  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Judul Skripsi :

EVALUASI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) RUMAH SAKIT (STUDI KASUS: RUMAH SAKIT ST. CAROLUS JAKARTA)

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Setyo S. Moersidik, DEA (  )  
Penguji : Ir. Irma Gusniani, M.Sc (  )  
Penguji : Dr. Ir. Djoko M.Hartono, S.E, M.Eng (  )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 11 Januari 2011

Universitas Indonesia

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Allah SWT serta shalawat dan salam kepada Nabi besar Muhammad SAW, atas izin-Nya laporan skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi dengan judul “Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Rumah Sakit (Studi Kasus : Rumah Sakit St. Carolus Jakarta)” disusun sebagai salah satu prasyarat dalam menyelesaikan studi program sarjana pada Program Studi Teknik Lingkungan Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Dalam penyusunan laporan skripsi ini, tanpa bantuan dari banyak pihak, akan sulit bagi penulis untuk menyelesaikannya tepat pada waktunya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Setyo. S. Moersidik, DEA selaku dosen pembimbing seminar atas arahan, saran, dan bantuannya yang sangat berarti.
2. Para dosen Teknik Lingkungan FTUI yang telah membimbing dan memberikan ilmu yang sangat berguna bagi penulis.
3. Orang tua dan keluarga besar penulis yang telah memberikan dukungan dan doa.
4. Bapak drg. Poul D.H. Sitompul, MM dan Ibu Rita dari pihak pengelola IPAL Rumah Sakit St. Carolus, atas segala bantuan dan arahan yang diberikan.
5. Teman-teman Teknik Lingkungan 2006, FUSI FTUI, BEM FTUI dan MPM FTUI atas dukungan dan kebersamaan dalam perjuangan selama ini
6. Pihak-pihak lain yang mendukung dan membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik untuk perbaikan di masa yang akan datang.

Depok, Desember 2010

Penulis

**Universitas Indonesia**

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

---

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

Nama : Sefni Yenti

NPM : 0606078203

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 saya yang berjudul:

Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Rumah Sakit (Studi Kasus: Rumah Sakit St. Carolus Jakarta)

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/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 sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 11 Januari 2011

Yang menyatakan



( Sefni Yenti )

## ABSTRAK

Nama : Sefni Yenti  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Judul : Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit  
(Studi Kasus: Rumah Sakit St. Carolus Jakarta)

Rumah sakit St. Carolus Jakarta merupakan salah satu rumah sakit dengan predikat pengelola air limbah yang baik. Sistem pengolahan biologis adalah sistem pengolahan air limbah yang diterapkan di Instalasi Pengolahan Air Limbah di rumah sakit St. Carolus Jakarta. Berdasarkan hasil pengujian terhadap kualitas effluent IPAL rumah sakit St. Carolus, nilai kadar pencemar yang terkandung pada effluent air limbah telah sesuai dengan baku mutu lingkungan yang ditetapkan oleh Peraturan Gubernur DKI Jakarta No. 122 Thun 2005 Tentang baku mutu limbah cair domestik. Selain itu, efektifitas IPAL rumah sakit St. Carolus tergolong bagus, terlihat dari efisiensi penurunan kadar pencemar untuk setiap parameter antar lain: pH 0,54%, TSS 82,13%, BOD<sub>5</sub> 94,17%, COD 78,6%, Minyak Lemak 14,43%, Zat Organik KMnO<sub>4</sub> 91,3%, Senyawa Aktif Methylene Blue 84,35% dan ammonia sebesar 81,42%, yang keseluruhannya diperoleh dari data sekunder dari pihak rumah sakit. Sedangkan berdasarkan analisis laboratorium, efisiensi penurunan kadar pencemar untuk setiap parameter adalah: TSS 95,42%, BOD<sub>5</sub> 75,66%, COD 73,52%, Minyak Lemak 17,30%, Zat Organik KMnO<sub>4</sub> 60,43%, Senyawa Aktif Methylene Blue 68,33% dan ammonia sebesar 98%.

**Kata Kunci:**

Sistem pengolahan biologis, Instalasi Pengolahan Air Limbah, efisiensi penurunan kadar pencemar

## ABSTRACT

Name : Sefni Yenti  
Study Program : Teknik Lingkungan  
Title : Evaluation of Waste Water Treatment Plant in Hospital  
(Case Study : St. Carolus Hospital Jakarta)

St. Carolus Hospital ini Jakarta is one of activity that have good waste water treatment. The Biological Treatment is the way that used in this hospital. Based on labororium test about effluent quality of this Waste Water Treatment Plant (WWTP), the number of pollutant in outlet of WWTP is suitable with value that permitted by Jakarta's Governor regulation No. 122 /2005 About Domestic Waste Water Quality Limitation that permitted to throw to stream or river. Beside that, the effectiveness of this WWTP is good, seen from the efficiency of pollutant removal for each parameter that found from secondary data from St. Carolus Hospital: pH 0,54%, TSS 82,13%, BOD<sub>5</sub> 94,17%, COD 78,6%, Minyak LeOil and Fat 14,43%, Organic substance KMnO<sub>4</sub> 91,3%, Methylene Blue Active Compound 84,35% and ammonia 81,42%. Based on labororium analysis, the efficiency of pollutant removal for each parameter are: TSS 95,42%, BOD<sub>5</sub> 75,66%, COD 73,52%, Oil and Fat 17,30%, Organic Substance KMnO<sub>4</sub> 60,43%, Methylene Blue Active Compound 68,33% and ammonia 98%.

Key Word:

Biological treatment, Waste Water Treatment Plant, Efficiency of pollutant removal

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	2
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II. LANDASAN TEORI .....	5
2.1 Rumah Sakit.....	5
2.2 Limbah Rumah Sakit.....	4
2.3 Pengelolaan Limbah Rumah Sakit.....	8
2.4 Pengolahan Limbah Rumah Sakit.....	12
2.5 Karakteristik Limbah Cair Rumah Sakit.....	14
2.5.1 Karakteristik Fisik.....	15
2.5.2 Karakteristik Kimia.....	17
2.5.3 Karakteristik Biologis.....	19
2.6 Standar Air Buangan.....	19
2.6.1 <i>Stream Standard</i> .....	19
2.6.2 <i>Effluent Standard</i> .....	20
2.7 Karakteristik Air Buangan.....	21
2.7.1 Karakteristik Fisik.....	24
2.7.2 Karakteristik Kimia.....	25
2.7.3 Karakteristik Biologis.....	28
2.8 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL).....	30
2.8.1 <i>Pre Treatment</i> (Pengolahan Pendahuluan).....	30
2.8.2 <i>Secondary Treatment</i> (Pengolahan Tingkat Kedua).....	31
2.8.3 <i>Tertiary Treatment</i> (Pengolahan Tingkat Ketiga).....	38
2.8.4 Pengolahan Lumpur.....	39

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN.....	40
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	40
3.2 Teknik Pengolahan Data .....	43
BAB IV.GAMBARAN UMUM RUMAH SAKIT ST. CAROLUS JAKARTA.....	45
4.1 Sejarah Pendirian Rumah Sakit ST. Carolus Jakarta .....	45
4.2 Profil Rumah Sakit St. Carolus .....	46
4.2.1 Sumber Daya Manusia.....	46
4.2.2 Unit Penghasil Limbah .....	47
4.3 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Rumah Sakit St. Carolus.....	47
4.3.1 Kondisi Eksisting Instalasi Pengolahan Air Limbah .....	48
BAB V. ANALISIS DAN EVALUASI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH.....	59
5.1 Umum.....	59
5.2 Analisis Input IPAL Rumah Sakit Carolus.....	59
5.2.1 Analisis Kapasitas IPAL dan Timbulan Limbah Cair Berdasarkan Data Sekunder.....	59
5.2.2 Analisis Kapasitas IPAL dan Timbulan Limbah Cair Berdasarkan Konsumsi Air Bersih.....	62
5.2.2 Analisis Karakteristik Input IPAL.....	63
5.3 Analisis Proses IPAL .....	65
5.3.1 Bak Clarifier (Bak Sedimentasi).....	66
5.3.2 FBK-Bioreaktor.....	68
5.3.3 Klorinasi (Disinfeksi) dan Unit Filtrasi.....	72
5.4 Analisis Outlet IPAL .....	72
5.5 Analisis Dimensi Unit-Unit pada IPAL Rumah Sakit St. Carolus.....	75
5.6 Analisis Data Inlet dan Outlet Instalasi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit St. Carolus.....	79
5.5.1 Analisis Inlet IPAL.....	83
5.5.2 Analisis Outlet IPAL.....	87
5.7 Perbandingan Data Sekunder dengan Analisis Laboratorium .....	87
BAB VI. PENUTUP.....	96
6.1 Kesimpulan.....	96
6.2 Saran.....	97
DAFTAR PUSTAKA.....	xii
LAMPIRAN	

## DAFTAR TABEL

### DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 2.1	Karakteristik Air Limbah Beberapa Rumah Sakit di Jakarta....	15
Tabel 2.2	Sifat Fisik Air Buangan Domestik.....	17
Tabel 2.3	Karakteristik Air Buangan Berdasarkan Unsur Pencemar.....	21
Tabel 2.4	Pencemar Penting dan Penyebabnya.....	23
Tabel 2.5	Kadar Penyisihan Beberapa Parameter pada Tangki Septik.....	30
Tabel 2.6	Kriteria Desain Sedimentasi.....	31
Tabel 2.7	Kriteria Desain Bioreaktor.....	35
Tabel 2.8	Kriteria Desain untuk Conventional Activated Sludge.....	37
Tabel 5.1	Karakteristik Limbah Cair pada Inlet IPAL.....	64
Tabel 5.2	Analisis Karakteristik Limbah Cair pada Unit Clarifier.....	66
Tabel 5.3	Hasil Analisis pada Unit FBK-Bioreaktor.....	69
Tabel 5.4	Hasil Pemeriksaan Parameter Air Limbah pada Outlet.....	73
Tabel 5.5	Perbandingan Kualitas Influent dan Effluent Limbah Cair pada IPAL Rumah Sakit St. Carolus.....	74
Tabel 5.6	Kriteria Desain Bioreaktor.....	78
Tabel 5.7	Perbandingan Kriteria Desain dan Kondisi Eksisting di Lapangan.....	78
Tabel 5.8	Data Inlet dan Outlet IPAL Rumah Sakit St. Carolus Berdasarkan Pemeriksaan BPLHD.....	81
Tabel 5.9	Perbandingan Data Sekunder dengan Analisis Laboratorium.....	95
Tabel 6.1	Hasil Analisis Berdasarkan Data Laboratorium.....	96
Tabel 6.2	Hasil Analisis Berdasarkan Data Sekunder.....	97

## DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR	Halaman
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	41
Gambar 3.2 Titik Pengambilan Sampel Air Limbah.....	42
Gambar 4.1 Bagan Sumber Air Limbah Sebelum Masuk Ke Unit IPAL.....	49
Gambar 4.2 Unit Penangkap Lemak.....	51
Gambar 4.3 Unit Ekualisasi.....	52
Gambar 4.4 Unit Clarifier.....	53
Gambar 4.5 Bak Lumpur.....	53
Gambar 4.6 Unit FBK-Bioreaktor.....	54
Gambar 4.7 Unit Disinfeksi dan Tangki Kimia berisi Disinfektan.....	55
Gambar 4.8 Saringan Pasir dan Saringan Karbon.....	55
Gambar 4.9 Diagram Alir Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit St. Carolus Jakarta.....	55
Gambar 4.10 Skema Aliran Limbah sebelum Masuk IPAL.....	55
Gambar 5.1 Grafik Timbulan Limbah Cair yang Masuk ke IPAL.....	61
Gambar 5.2 Skema Aliran limbah Sebelum Masuk ke Unit IPAL rumah Sakit .....	84
Gambar 5.3 Timbulan Limbah Cair dari unit Kegiatan di Rumah Sakit.....	85
Gambar 5.4 Grafik Kandungan pH pada Effluent IPAL.....	87
Gambar 5.5 Grafik Kandungan Zat Organik (KMnO <sub>4</sub> ) pada Effluent IPAL.....	88
Gambar 5.6 Grafik Kandungan Zat Padat Tersuspensi pada Effluent IPAL.....	89
Gambar 5.7 Grafik Kandungan Ammonia pada Effluent IPAL.....	90
Gambar 5.8 Grafik Kandungan Minyak dan Lemak pada Effluent IPAL	91
Gambar 5.9 Grafik Kandungan MBAS pada Effluent IPAL.....	92
Gambar 5.10 Grafik Kandungan COD pada Effluent IPAL.....	93
Gambar 5.11 Grafik Kandungan BOD pada Effluent IPAL.....	94

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tingginya angka pertumbuhan dan meningkatnya urbanisasi ke kota-kota besar, mengakibatkan angka pembangunan fisik di perkotaan ikut meningkat. Demikian pula halnya dengan pembangunan fasilitas kesehatan yang didominasi oleh pembangunan rumah sakit swasta. Biasanya, pendirian rumah sakit di daerah perkotaan ini berada di kawasan padat penduduk. Jika sistem pengolahan limbah tidak memenuhi syarat, maka akan timbul berbagai masalah kesehatan dan lingkungan yang pada akhirnya akan menurunkan kualitas hidup masyarakat.

Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) bersama Departemen Kesehatan pada 1997 pernah melakukan survei pengelolaan limbah di 88 rumah sakit di luar Kota Jakarta. Berdasarkan kriteria WHO, pengelolaan limbah rumah sakit yang baik adalah bila persentase limbah medis yang dihasilkan 15 persen. Tetapi di Indonesia, limbah medis yang dihasilkan dari kegiatan rumah sakit mencapai 23,3 persen. Maksudnya disini adalah, tidak adanya pemisahan antara limbah B3 dengan limbah non B3 mengakibatkan timbulan limbah menjadi tinggi, sehingga beban pengelolaan dan pengolahannya meningkat. Survei juga menemukan bahwa rumah sakit yang memisahkan limbah 80,7 persen, melakukan pewadahan 20,5 persen, pengangkutan 72,7 persen. Sedangkan pengelolaan limbah dengan insinerator untuk limbah infeksius baru 62 persen, limbah toksik 51,1 persen, limbah radioaktif di Batan 37 persen [1]

Pada tahun 1999, WHO melaporkan di Perancis pernah terjadi 8 kasus pekerja kesehatan terinfeksi HIV, 2 di antaranya menimpa petugas yang menangani limbah medis [2]. Hal ini menunjukkan bahwa perlunya pengelolaan limbah yang baik tidak hanya pada limbah medis tajam tetapi meliputi limbah rumah sakit secara keseluruhan. Namun, berdasarkan hasil *Rapid Assessment* tahun 2002 yang dilakukan oleh Ditjen P2MPL Direktorat Penyediaan Air dan Sanitasi yang melibatkan Dinas

Kesehatan Kabupaten dan Kota, menyebutkan bahwa sebanyak 648 rumah sakit dari 1.476 rumah sakit yang ada, yang memiliki insinerator baru 49% dan yang memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) sebanyak 36%. Dari jumlah tersebut kualitas limbah cair yang telah melalui proses pengolahan yang memenuhi syarat baru mencapai 52% [2].

Berdasarkan data diatas, dapat disimpulkan bahwa sebagian besar rumah sakit di Indonesia belum menerapkan sistem pengelolaan limbah yang sesuai dengan yang seharusnya. Rumah sakit belum sepenuhnya dapat menjalankan fungsinya sebagai sarana untuk penyembuhan orang sakit, bukan sebagai sarana penyebaran penyakit baru. Limbah rumah sakit terutama limbah medis sangat penting untuk dikelola secara benar, hal ini mengingat limbah medis termasuk kedalam kategori limbah berbahaya dan beracun (Limbah B3).

## **1.2 Perumusan Masalah**

Permasalahan yang akan diteliti pada penelitian ini adalah efektifitas instalasi pengolahan limbah cair (IPAL) yang ada di rumah sakit Carolus Jakarta. Pada rumah sakit ini tersedia instalasi pengolah air limbah yang meliputi limbah cair domestik dan limbah cair medis yang timbul akibat aktivitas rumah sakit. Dari instalasi ini akan dievaluasi efektifitas instalasi pengolahan air limbah yang telah berjalan dikaitkan dengan output air limbah hasil olahan . Selanjutnya, air hasil olahan yang dihasilkan sebagai effluent IPAL ini akan dibandingkan dengan baku mutu air limbah yang diperbolehkan, dalam hal ini dengan Peraturan Gubernur DKI Jakarta No. 122 Tahun 2005 Tentang Limbah Cair Domestik.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengevaluasi instalasi pengolahan air limbah (IPAL) rumah sakit dengan studi kasus rumah sakit St. Carolus Jakarta.

2. Optimalisasi dan efektifitas pengolahan limbah cair rumah sakit St.Carolus, Jakarta.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Pada penelitian ini, instalasi pengolahan limbah yang akan dievaluasi adalah instalasi pengolahan air limbah (IPAL ) yang ada di rumah sakit St. Carolus yang merupakan instalasi pengolah limbah cair yang ditimbulkan dari aktivitas rumah sakit, baik limbah cair domestik maupun limbah cair medis. Evaluasi yang akan dilakukan adalah pada tiap-tiap unit yang ada di IPAL rumah sakit berdasarkan data sekunder yang ada, dan data hasil penelitian di laboratorium untuk kemudian dianalisis efektifitas masing-masing unitnya sesuai dengan teori yang ada.

Berdasarkan evaluasi ini, unit yang tidak sesuai dengan kriteria desain yang ada pada teori, akan dianalisis penyebabnya untuk kemudian diberikan solusi agar instalasi pengolahan air limbah yang ada dapat berfungsi efektif dan optimal untuk pengolahan limbah cair di rumah sakit St. Carolus, Jakarta.

#### **1.5 Sistematika Penulisan**

Makalah seminar ini terdiri dari tiga bab yaitu:

##### **BAB I PENDAHULUAN**

Meliputi latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah penelitian dan sistematika penulisan makalah.

##### **BAB II LANDASAN TEORI**

Meliputi teori-teori dasar yang diperoleh berdasarkan studi literatur, baik dari jurnal, buku teks, data-data dari internet dan sumber-sumber ilmiah lainnya.

##### **BAB III METODE PENELITIAN**

Meliputi metode yang digunakan untuk melaksanakan penelitian ini dan akan tergambar dari diagram alir penelitian.

#### **BAB IV GAMBARAN UMUM RUMAH SAKIT ST. CAROLUS JAKARTA**

Pada bab ini, akan dipaparkan kondisi eksisting pengolahan limbah cair yang berlangsung di IPAL rumah sakit St, Carolus. Selain itu, pada bab ini juga akan digambarkan profil rumah sakit St. Carolus.

#### **BAB V ANALISA DAN EVALUASI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) RUMAH SAKIT ST. CAROLUS JAKARTA**

Pada bab ini, penulis akan menganalisis data sekunder yang telah diperoleh dari pihak rumah sakit. Selain itu, analisis juga akan dilakukan berdasarkan data hasil penelitian laboratorium. Berdasarkan hasil analisis inilah kemudian akan dilakukan evaluasi. Jika berdasarkan hasil evaluasi ditemukan permasalahan, maka akan dikemukakan pula solusi dari permasalahan tersebut.

#### **BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini merupakan bab terakhir dari laporan tugas akhir ini. Pada bagian ini akan dikemukakan kesimpulan dari analisis dan evaluasi serta penelitian yang telah dilakukan. Selain itu, pada bab ini juga akan diberikan beberapa solusi untuk permasalahan yang terjadi pada IPAL rumah sakit St. Carolus.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Rumah Sakit**

Menurut WHO (1957), rumah sakit adalah suatu bahagian menyeluruh, (integrasi) dari organisasi dan medis, berfungsi memberikan pelayanan kesehatan lengkap kepada masyarakat baik kuratif maupun rehabilitatif, dimana output layanannya menjangkau pelayanan keluarga dan lingkungan. Rumah sakit juga merupakan pusat pelatihan tenaga kesehatan serta penelitian biososial. Berdasarkan peraturan yang dikeluarkan oleh Departemen Kesehatan RI tahun 1989, rumah sakit juga merupakan pusat pelayanan rujukan medik spesialisik dan sub spesialisik dengan fungsi utama menyediakan dan menyelenggarakan upaya kesehatan yang bersifat penyembuhan (kuratif) dan Pemulihan (rehabilitasi pasien).

Rumah sakit merupakan sarana upaya perbaikan kesehatan yang melaksanakan pelayanan kesehatan dan dapat dimanfaatkan pula sebagai lembaga pendidikan tenaga kesehatan dan penelitian. Pelayanan kesehatan yang dilakukan rumah sakit berupa kegiatan penyembuhan penderita dan pemulihan keadaan cacat badan serta jiwa [3]. Jika dilihat dari sudut pandang pelayanannya, rumah sakit dapat juga diartikan sebagai sarana upaya kesehatan yang menyelenggarakan pelayanan kesehatan yang meliputi pelayanan rawat jalan, rawat inap, pelayanan gawat darurat, pelayanan medik dan non medik yang dalam melakukan proses kegiatan hasilnya dapat mempengaruhi lingkungan sosial, budaya dan dalam menyelenggarakan upaya dimaksud dapat mempergunakan teknologi yang diperkirakan mempunyai potensi besar terhadap lingkungan [4].

#### **2.2 Limbah Rumah Sakit**

Limbah rumah Sakit adalah semua limbah yang dihasilkan oleh kegiatan rumah sakit dan kegiatan penunjang lainnya [5]. Limbah rumah Sakit

bisa mengandung bermacam-macam mikroorganisme tergantung pada jenis rumah sakit dan tingkat pengolahan yang dilakukan sebelum dibuang. Limbah cair rumah sakit dapat mengandung bahan organik dan anorganik yang umumnya diukur dan parameter BOD, COD dan TSS. Sedangkan limbah padat rumah sakit terdiri atas sampah mudah membusuk, sampah mudah terbakar, dan lain-lain. Limbah-limbah tersebut kemungkinan besar mengandung mikroorganisme patogen atau bahan kimia beracun berbahaya yang menyebabkan penyakit infeksi dan dapat tersebar ke lingkungan rumah sakit yang disebabkan oleh teknik pelayanan kesehatan yang kurang memadai, kesalahan penanganan bahan-bahan terkontaminasi dan peralatan, serta penyediaan dan pemeliharaan sarana sanitasi yang masih buruk [5].

Limbah yang dihasilkan rumah sakit dapat membahayakan kesehatan masyarakat, yaitu limbah berupa virus dan kuman yang berasal dan Laboratorium Virologi dan Mikrobiologi dan sulit untuk dideteksi. Limbah cair dan limbah padat yang berasal dan rumah sakit dapat berfungsi sebagai media penyebaran gangguan atau penyakit bagi para petugas, penderita maupun masyarakat. Gangguan tersebut dapat berupa pencemaran udara, pencemaran air, tanah, pencemaran makanan dan minuman [4].

Pembuangan limbah ini dilakukan dengan memilah-milah limbah ke dalam pelbagai kategori. Untuk masing-masing jenis kategori diterapkan cara pembuangan limbah yang berbeda. Prinsip umum pembuangan limbah rumah sakit adalah sejauh mungkin menghindari resiko kontaminasi dan trauma (*injury*). Jenis-jenis limbah rumah sakit [6] :

a. Limbah Medis

Limbah dihasilkan selama pelayanan pasien secara rutin, pembedahan dan di unit-unit resiko tinggi. Limbah ini mungkin berbahaya dan mengakibatkan resiko tinggi infeksi kuman dan populasi umum dan staff rumah sakit. Oleh karena itu perlu diberi label yang jelas sebagai resiko tinggi, contoh limbah jenis tersebut ialah perban atau pembungkus yang kotor, cairan badan, anggota badan yang diamputasi, jarum-jarum dan semprit bekas, kantung urin dan produk darah.

b. Limbah Patologi

Limbah ini juga dianggap beresiko tinggi dan sebaiknya diotoklaf sebelum keluar dari unit patologi. Limbah tersebut harus diberi label biohazard.

c. Limbah Bukan Medis

Limbah ini meliputi kertas-kertas pembungkus atau kantong dan plastik yang tidak berkontak dengan cairan badan. Meskipun tidak menimbulkan resiko sakit, limbah tersebut cukup merepotkan karena memerlukan tempat yang besar untuk mengangkut dan membuangnya.

d. Limbah Dapur

Limbah ini mencakup sisa-sisa makanan dan air kotor. Berbagai serangga seperti kecoa, kutu dan hewan mengerat seperti tikus merupakan gangguan bagi staff maupun pasien di rumah sakit.

e. Limbah Radioaktif

Walaupun limbah ini tidak menimbulkan persoalan pengendalian infeksi di rumah sakit, pembuangannya secara aman perlu diatur dengan baik.

Persentase terbesar dari air limbah rumah sakit adalah limbah non medis, sedangkan sisanya adalah limbah yang terkontaminasi oleh *infectious agent* kultur mikroorganisme, darah, buangan pasien pengidap penyakit infeksi dan lain-lain. Perbandingan limbah non medis dan medis adalah 89% : 11% [21].

Jika mengacu pada Keputusan Menteri Kesehatan Nomor: 1204/MENKES/SK/2004 tahun 2004 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit, limbah rumah sakit adalah semua limbah yang dihasilkan dari kegiatan rumah sakit dalam bentuk padat, cair dan gas.

a. Limbah padat rumah sakit adalah semua limbah rumah sakit berbentuk padat akibat kegiatan rumah sakit terdiri; limbah medis dan non medis.

- Limbah medis padat adalah limbah padat berupa limbah infeksius, limbah patologi, limbah benda tajam, limbah kimiawi, limbah farmasi, limbah sitotoksis, limbah radioaktif, limbah kontainer bertekanan dan limbah dengan kandungan logam berat yang tinggi.
- Limbah padat non medis adalah limbah padat hasil kegiatan rumah sakit di luar medis yang berasal dari dapur, perkantoran, taman dan halaman yang dapat dimanfaatkan kembali apabila ada teknologinya.

**Universitas Indonesia**

- b. Limbah cair rumah sakit adalah semua air buangan termasuk tinja berasal dari kegiatan rumah sakit, kemungkinan mengandung mikroorganisme, bahan kimia beracun dan radioaktif yang berbahaya bagi kesehatan.
- c. Limbah gas adalah semua limbah berbentuk gas, berasal dari kegiatan pembakaran di rumah sakit seperti incenerator, perlengkapan generator, dapur, anastesi dan pembuatan obat sitotoksik.

Selain itu, pada Keputusan Menteri Kesehatan Nomor: 1204/MENKES/SK/2004 tahun 2004 ini juga dijelaskan bahwa limbah infeksius adalah limbah yang terkontaminasi organisme patogen yang secara rutin ada di lingkungan dan organisme tersebut dalam jumlah dan virulensi yang cukup untuk menularkan penyakit pada manusia rentan. Limbah sangat infeksius adalah limbah berasal dari pembiakan dan stok bahan sangat infeksius, otopsi, organ binatang percobaan dan bahan lain yang telah diinokulasi, terinfeksi atau kontak dengan bahan yang sangat infeksius. Sedangkan limbah sitotoksik adalah limbah bahan yang terkontaminasi dari persiapan dan pemberian obat sitotoksik untuk kemoterapi kanker, yang mempunyai kemampuan untuk membunuh atau menghambat pertumbuhan sel hidup.

### **2.3 Pengelolaan Limbah Rumah Sakit**

Kegiatan rumah sakit menghasilkan berbagai macam limbah yang berupa benda cair, padat dan gas. Pengelolaan limbah rumah sakit adalah bagian dari kegiatan penyehatan lingkungan di rumah sakit yang bertujuan untuk melindungi masyarakat dari bahaya pencemaran lingkungan yang bersumber dari limbah rumah sakit.

Dalam Undang-Undang No.9 tahun 1990 Tentang Pokok-pokok Kesehatan, telah dinyatakan bahwa setiap warga berhak memperoleh derajat kesehatan yang setinggi-tingginya. Ketentuan ini menjadi dasar bagi pemerintah untuk menyelenggarakan kegiatan yang berupa pencegahan dan pemberantasan penyakit, pencegahan dan penanggulangan pencemaran, pemulihan kesehatan, penerangan dan pendidikan kesehatan kepada masyarakat.

Upaya perbaikan kesehatan masyarakat dapat dilakukan melalui berbagai macam cara, antara lain pencegahan dan pemberantasan penyakit menular,

penyehatan lingkungan, perbaikan gizi, penyediaan air bersih, penyuluhan kesehatan serta pelayanan kesehatan ibu dan anak. Selain itu, perlindungan terhadap bahaya pencemaran lingkungan juga perlu diberi perhatian khusus [3].

Upaya pengelolaan limbah rumah sakit telah dilaksanakan dengan menyiapkan perangkat lunaknya yang berupa peraturan-peraturan, pedoman-pedoman dan kebijakan-kebijakan yang mengatur pengelolaan dan peningkatan kesehatan di lingkungan rumah sakit. Di samping itu secara bertahap dan berkesinambungan Departemen Kesehatan mengupayakan instalasi pengelolaan limbah rumah sakit. Sehingga sampai saat ini sebagian rumah sakit pemerintah telah dilengkapi dengan fasilitas pengelolaan limbah, meskipun perlu untuk disempurnakan. Namun harus disadari bahwa pengelolaan limbah rumah sakit masih perlu ditingkatkan lagi.

Undang-Undang Nomor 23 Tahun 1992 Tentang Pokok-Pokok Kesehatan menyebutkan bahwa setiap warga negara Indonesia berhak memperoleh derajat kesehatan yang setinggi-tingginya. Oleh karena itu Pemerintah menyelenggarakan usaha-usaha dalam lapangan pencegahan dan pemberantasan penyakit, pencegahan dan penanggulangan pencemaran, pemulihan kesehatan, penerangan dan pendidikan kesehatan pada rakyat dan lain sebagainya. Usaha peningkatan dan pemeliharaan kesehatan harus dilakukan secara terus menerus, sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan di bidang kesehatan, maka usaha pencegahan dan penanggulangan pencemaran diharapkan mengalami kemajuan.

Sarana pengolahan/pembuangan limbah cair rumah sakit pada dasarnya berfungsi menerima limbah cair yang berasal dari berbagai alat sanitair, menyalurkan melalui instalasi saluran pembuangan dalam gedung selanjutnya melalui instalasi saluran pembuangan di luar gedung menuju instalasi pengolahan buangan cair. Dari instalasi limbah, cairan yang sudah diolah mengalir ke saluran pembuangan ke perembesan tanah atau ke saluran pembuangan kota [5]. Limbah padat yang berasal dari bangsal-bangsal, dapur, kamar operasi dan lain sebagainya baik yang medis maupun non medis perlu dikelola sebaik-baiknya sehingga kesehatan petugas, penderita dan masyarakat di sekitar rumah sakit dapat terhindar dari kemungkinan-kemungkinan dampak pencemaran limbah rumah sakit tersebut [7].

**Universitas Indonesia**

Terkait dengan limbah B3, pemerintah melalui Permenkes No.1204 Tahun 2004 tentang Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit, telah menetapkan adanya kodifikasi untuk penampungan limbah padat medis dalam kaitannya sebagai limbah B3 agar tidak membahayakan basi masyarakat di lingkungan sekitar rumah sakit. Kebijakan kodifikasi perlu memperhatikan hal-hal berikut [8] :

1. Bangsal harus memiliki dua macam tempat limbah dengan dua warna, satu untuk limbah medis dan yang lain untuk bukan medis.
2. Semua limbah dari kamar operasi dianggap sebagai limbah medis.
3. Limbah dari kantor, biasanya berupa alat-alat tulis, dianggap sebagai limbah non medis.
4. Semua limbah yang keluar dari unit patologi harus dianggap sebagai limbah medis dan perlu dinyatakan aman sebelum dibuang.

Beberapa hal perlu dipertimbangkan dalam merumuskan kebijakan kodifikasi dengan warna yang menyangkut hal-hal berikut [9] :

1. Pemisahan limbah
  - Limbah harus dipisahkan dari sumbernya
  - Semua limbah beresiko tinggi hendaknya diberi label yang jelas
  - Perlu digunakan kantung plastik dengan warna-warna yang berbeda, yang menunjukkan ke mana plastik harus diangkut untuk insinerasi atau dibuang.
2. Penyimpanan limbah
  - Kantung-kantung dengan warna harus dibuang jika telah berisi  $\frac{2}{3}$  bagian. Kemudian diikat bagian atasnya dan diberi label yang jelas
  - Kantung harus diangkut dengan memegang lehernya, sehingga kalau dibawa mengayun menjauhi badan, dan diletakkan di tempat-tempat tertentu untuk dikumpulkan
  - Petugas pengumpul limbah harus memastikan kantung-kantung dengan warna yang samatelah dijadikan satu dan dikirim ke tempat yang sesuai
  - Kantung harus disimpan di kotak-kotak yang kedap terhadap kutu dan hewan perusak sebelum diangkut ke tempat pembuangannya.

### 3. Penanganan limbah

- Kantong-kantong dengan kode warna hanya boleh diangkat bila telah ditutup
- Kantong dipegang pada lehernya
- Petugas harus mengenakan pakaian pelindung, misalnya dengan memakai sarung tangan yang kuat dan pakaian terusan (overall), pada waktu mengangkat kantong tersebut
- Jika terjadi kontaminasi diluar kantong diperlukan kantong baru yang bersih untuk membungkus kantong baru yang kotor tersebut seisinya (*double bagging*)
- Petugas diharuskan melapor jika menemukan benda-benda tajam yang dapat mencederainya di dalam kantong yang salah
- Tidak ada seorang pun yang boleh memasukkan tangannya kedalam kantong limbah.

### 4. Pengangkutan limbah

Kantong limbah dikumpulkan dan seklaigus dipisahkan menurut kode warnanya. Limbah bagian bukan medis misalnya dibawa ke kompaktor, sedangkan limbah bagian medis dibawa ke insinerator. Pengangkutan menggunakan kendaraan khusus. Kendaraan yang digunakan untuk mengangkat limbah tersebut sebaiknya dikosongkan dan dibersihkan setiap hari, atau apabila diperlukan maka dibersihkan dengan menggunakan larutan klorin.

### 5. Pembuangan limbah

Setelah dimanfaatkan dengan kompaktor, limbah bukan medis dapat dibuang ditempat penimbunan sampah (land-fill site), sedangkan limbah medis harus dibakar (insinerasi). Jika tidak memungkinkan, harus ditimbun dengan kapur dan ditanam di dalam tanah.

Untuk limbah gas, upaya pengelolaannya lebih sederhana dibanding dengan limbah cair, pengelolaan limbah gas tidak dapat terlepas dari upaya penyehatan ruangan dan bangunan khususnya dalam memelihara kualitas udara ruangan (indoor) yang antara lain disyaratkan agar [4] :

- Tidak berbau (terutama oleh gas H<sub>2</sub>S dan Amoniak)

**Universitas Indonesia**

- Kadar debu tidak melampaui 150 Kg/m<sup>3</sup> dalam pengukuran rata-rata selama 24 jam.
- Angka kuman. Ruang operasi kurang dari 350 kalori/m<sup>3</sup> udara dan bebas kuman patogen (khususnya *alpha streptococcus haemoliticus* dan spora gas *gangrer*). Untuk ruang perawatan dan isolasi, kurang dari 700 kalori/m<sup>3</sup> udara dan bebas kuman patogen. Kadar gas dan bahan berbahaya dalam udara tidak melebihi konsentrasi maksimum yang telah ditentukan.

Penggunaan insinerator, biasanya disesuaikan dengan kemampuan rumah sakit. Insinerator berukuran kecil atau menengah dapat membakar pada suhu 1300 - 1500° C atau lebih tinggi dan mungkin dapat mendaur ulang sampai 60% panas yang dihasilkan untuk kebutuhan energi rumah sakit. Dalam perkembangannya, insinerator modern memiliki beberapa keuntungan antara lain adalah kemampuannya menampung limbah medis maupun bukan medis, termasuk benda tajam dan produk farmasi yang tidak terpakai [10].

Jika fasilitas insinerasi tidak tersedia, limbah medis dapat ditimbun dengan kapur dan ditanam. Langkah-langkah pengapuran (*liming*) tersebut meliputi yang berikut :

- Menggali lubang, dengan kedalaman sekitar 2,5 meter.
- Tebarkan limbah medis didasar lubang sampai setinggi 75 cm.
- Tambahkan lapisan kapur.
- Lapisan limbah yang ditimbun lapisan kapur masih bisa ditambahkan sampai ketinggian 0,5 meter dibawah permukaan tanah.
- Selanjutnya lubang tersebut harus ditutup dengan tanah.

#### **2.4 Pengolahan Limbah Rumah Sakit**

Pengolahan limbah pada dasarnya merupakan upaya mengurangi volume, konsentrasi atau bahaya limbah, setelah proses produksi atau kegiatan, melalui proses fisika, kimia atau hayati. Dalam pelaksanaan pengelolaan limbah, upaya pertama yang harus dilakukan adalah upaya preventif yaitu mengurangi volume bahaya limbah yang dikeluarkan ke lingkungan yang meliputi upaya mengunangi

**Universitas Indonesia**

limbah pada sumbernya, serta upaya pemanfaatan limbah. Program minimisasi limbah di Indonesia baru mulai digalakkan dan bagi rumah sakit masih merupakan hal baru, yang tujuannya untuk mengurangi jumlah limbah dan pengolahan limbah yang masih mempunyai nilai ekonomi [6]

Berbagai upaya telah dipergunakan untuk mengungkapkan pilihan teknologi mana yang terbaik untuk pengolahan limbah, khususnya limbah berbahaya antara lain reduksi limbah (*waste reduction*), minimisasi limbah (*waste minimization*), pemberantasan limbah (*waste abatement*), pencegahan pencemaran (*waste prevention*) dan reduksi pada sumbernya (*source reduction*) [11].

Reduksi limbah pada sumbernya merupakan upaya yang harus dilaksanakan pertama kali karena upaya ini bersifat preventif yaitu mencegah atau mengurangi terjadinya limbah yang keluar dan proses produksi. Reduksi limbah pada sumbernya adalah upaya mengurangi volume, konsentrasi, toksisitas dan tingkat bahaya limbah yang akan keluar ke lingkungan secara preventif langsung pada sumber pencemar, hal ini banyak memberikan keuntungan yakni meningkatkan efisiensi kegiatan serta mengurangi biaya pengolahan limbah dan pelaksanaannya relatif murah [11]. Berbagai cara yang digunakan untuk reduksi limbah pada sumbernya adalah :

1. *House Keeping* yang baik, usaha ini dilakukan oleh rumah sakit dalam menjaga kebersihan lingkungan dengan mencegah terjadinya ceceran, tumpahan atau kebocoran bahan serta menangani limbah yang terjadi dengan sebaik mungkin.
2. Segregasi aliran limbah, yakni memisahkan berbagai jenis aliran limbah menurut jenis komponen, konsentrasi atau keadaanya, sehingga dapat mempermudah, mengurangi volume, atau mengurangi biaya pengolahan limbah.
3. Pelaksanaan preventive maintenance, yakni pemeliharaan/penggantian alat atau bagian alat menurut waktu yang telah dijadwalkan.
4. Pengelolaan bahan (*material inventory*), adalah suatu upaya agar persediaan bahan selalu cukup untuk menjamin kelancaran proses kegiatan, tetapi tidak berlebihan sehingga tidak menimbulkan gangguan lingkungan, sedangkan penyimpanan agar tetap rapi dan terkontrol.

**Universitas Indonesia**

5. Pengaturan kondisi proses dan operasi yang baik: sesuai dengan petunjuk pengoperasian/penggunaan alat dapat meningkatkan efisiensi.
6. Penggunaan teknologi bersih yakni pemilikan teknologi proses kegiatan yang kurang potensi untuk mengeluarkan limbah B3 dengan efisiensi yang cukup tinggi, sebaiknya dilakukan pada saat pengembangan rumah sakit baru atau penggantian sebagian unitnya.

## **2.5 Karakteristik Limbah Cair Rumah Sakit**

Limbah cair rumah sakit adalah seluruh buangan cair yang berasal dari hasil proses seluruh kegiatan rumah sakit yang meliputi : limbah domestik cair yakni buangan kamar mandi, dapur, air bekas pencucian pakaian; limbah cair klinis yakni air limbah yang berasal dari kegiatan klinis rumah sakit misalnya air bekas cucian luka, cucian darah, dll; air limbah laboratorium; dan lainnya.

Limbah rumah sakit bisa mengandung bermacam-macam mikroorganisme tergantung pada jenis rumah sakit, tingkat pengolahan yang dilakukan sebelum dibuang, dan jenis sarana yang ada. Selain itu limbah rumah sakit seperti halnya limbah lain akan mengandung bahan-bahan organik dan anorganik, yang tingkat kandungannya dapat ditentukan dengan uji air kotor pada umumnya seperti BOD, COD, TSS, dan lain-lain (Depkes RI, 1994).

Dari hasil analisa kimia terhadap beberapa contoh air limbah rumah sakit yang ada di DKI Jakarta menunjukkan bahwa konsentrasi senyawa pencemar sangat bervariasi misalnya, BOD 31,52 – 675,33 mg/l, ammonia 10,79 – 158,73 mg/l, deterjen (MBAS) 1,66 – 9,79 mg/l. Hal ini mungkin disebabkan karena sumber air limbah yang bervariasi sehingga faktor waktu dan metode pengambilan contoh sangat mempengaruhi besarnya konsentrasi.

Tabel 2.1. Karakteristik Air Limbah Beberapa Rumah Sakit di Jakarta

No.	Parameter (mg/l)	Minimum	Maksimum	Rata-Rata
1	BOD	31,52	675,33	353,43
2	COD	46,62	1183,4	615,01
3	KMnO <sub>4</sub>	69,84	739,56	404,7
4	Ammonia (NH <sub>3</sub> )	10,79	158,73	84,76
5	Nitrit (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,013	0,274	0,1435
6	Nitrat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	2,25	8,91	5,58
7	Khlorida (Cl <sup>-</sup> )	29,74	103,73	66,735
8	Sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	81,3	120,6	100,96
9	pH	4,92	8,99	6,96
10	Zat Padat Tersuspensi (SS)	27,5	211	119,25
11	Deterjen (MBAS)	1,66	9,79	5,725
12	Minyak/lemak	1	125	63
13	Cadmium (Cd)	ttd	0,016	0,008
14	Timbal (Pb)	0,002	0,04	0,021
15	Tembaga (Cu)	ttd	0,49	0,245
16	Besi (Fe)	0,19	70	35,1
17	Warna (Skala Pt-Co)	31	150	76
18	Phenol	0,04	0,63	0,335

Sumber : PD PAL JAYA, 1995 dalam Herlambang, 2002

### 2.5.1 Karakteristik Fisik

Penentuan derajat kekotoran air limbah sangat dipengaruhi oleh adanya sifat fisik yang mudah terlihat yaitu kandungan zat padat sebagai efek estetika dan kejernihan serta bau dan warna juga temperatur.

#### – Padatan (Solids)

Zat padat yang dapat mengendap adalah zat padat yang akan mengendap pada kondisi tanpa bergerak atau diam kurang lebih selama 1 jam sebagai akibat gaya beratnya sendiri. Pengukuran besarnya endapan penting untuk mengetahui derajat pengendapan dan jumlah endapan yang ada dalam badan

Universitas Indonesia

air. Jumlah total endapan dapat dideteksi dengan penyaringan terhadap air kotor melalui kertas fiber atau saringan 0,45 mikron dan mengukur berat kering dari material yang terkumpul dalam satuan mg/L. Apabila contoh yang diambil berasal dari lumpur aktif reaktor air limbah, maka endapan tersebut dikenal dengan MLSS (*Mixed Liquor Suspended Solid*). Hasil endapan ini bila dipanaskan pada suhu 600<sup>0</sup>C, maka sebagian bahan akan menguap dan sebagian lagi akan berupa bahan sisa yang sangat kering.

Bahan yang teruap dikenal sebagai *volatile*, sedangkan bahan yang tersisa akibat penguapan disebut *fixed*, dan hasilnya disebut dengan MLVSS (*Mixed Liquor Volatile Suspended Solid*). Sifat-sifat fisik lainnya terangkum pada tabel berikut:

Table 2.2 Sifat Fisik Air Buangan Domestik

Sifat-sifat	Penyebab	Pengaruh
Suhu	Kondisi udara sekitarnya, air panas yang dibuang ke saluran dari rumah maupun industri	Mempengaruhi kehidupan biologis, kelarutan oksigen gas lain, kerapatan air, daya viskositas dan tekanan permukaan
Kekeruhan	Benda-benda tercampur seperti limbah padat, garam tanah liat, bahan organik yang halus dari buah-buahan asli, algae, organisme kecil	Memantulkan sinar, jadi mengurangi produksi oksigen yang dihasilkan tanaman. Mengotori pemandangan dan mengganggu kehidupan
Warna	Benda terlarut seperti sisa bahan organik dari daun dan tanaman (kulit, gula, besi), buangan industri	Umumnya tidak berbahaya dan berpengaruh terhadap kualitas estetika air
Bau	Bahan volatile, gas terlarut, selalu hasil pembusukan bahan organik, minyak utama dari mikroorganisme	Petunjuk adanya pembusukan air limbah, merusak keindahan

Rasa	Bahan penghasil bau, benda terlarut dan beberapa ion	Mempengaruhi estetika
Benda padat	Benda organik dan anorganik yang terlarut ataupun tercampur	Mempengaruhi jumlah organik padat, garam, juga merupakan petunjuk pencemaran atau kepekatan limbah meningkat

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2004

### 2.5.2 Karakteristik kimia

Secara umum karakteristik kimia pada air limbah terbagi dua, yaitu kimia organik dan anorganik. Jumlah materi organik sangat dominan, karena 75% dari zat padat tersuspensi dan 40% zat padat tersaring merupakan bahan organik, yang tersusun dari senyawa karbon, hidrogen, oksigen dan ada juga yang mengandung nitrogen. Sedangkan Materi / senyawa anorganik terdiri atas semua kombinasi elemen yang bukan tersusun dari karbon organik. Karbon anorganik dalam air limbah pada umumnya terdiri dari *sand*, *grit*, dan mineral-mineral, baik, *suspended* maupun *dissolved*

#### a. Kimia Organik

- Lemak atau Minyak: Lemak dan minyak merupakan komponen utama bahan makanan yang juga banyak ditemukan dalam air limbah. Lemak dan minyak membentuk ester dan alkohol atau gliserol dengan asam lemak. Gliserid dari asam lemak ini berupa cairan pada keadaan biasa dikenal sebagai minyak dan apabila dalam bentuk padat dan kental dikenal dengan lemak .
- Deterjen atau *Surfactant*: *Surfactant* merupakan singkatan dari *surface active agents* yang berasal dari detergent pencuci pakaian. Membentuk busa yang stabil pada saat proses aerasi. Keberadaannya dideteksi dengan menggunakan larutan *methylene blue*. Nama lain dari *surfactant* adalah *methylene blue active substance* atau disingkat dengan MBAS [10].
- *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*: mendefinisikan *Biochemical Oxygen Demand (BOD)* sebagai banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh

Universitas Indonesia

mikroorganisme pada waktu melakukan proses dekomposisi bahan organik yang ada di perairan. Parameter yang paling banyak digunakan adalah BOD<sub>5</sub> (Sutrisno, 2002)

- *Chemical Oxygen Demand* (COD): merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air (Alaerts dan Santika, 1984).
- Angka permanganat: Zat organik dalam air umumnya berasal dari minyak tumbuh-tumbuhan, lemak hewan, selulose, proses sintesa, proses fermentasi alcohol, acetone atau kegiatan organism terhadap bahan organik. Adanya bahan organik dalam air erat hubungannya dengan perubahan fisik air, yaitu timbulnya warna, rasa dan bau serta kekeruhan.

#### **b. Kimia Anorganik**

- pH (Derajat Keasaman): merupakan istilah yang digunakan untuk menyatakan intensitas keadaan asam atau basa suatu larutan. pH juga merupakan suatu cara untuk menyatakan konsentrasi ion H<sup>+</sup>.
- Klorida (Cl): Kadar klorida di dalam air alami dihasilkan dari rembesan klorida yang ada dalam batuan dan tanah serta dari daerah pantai dan rembesan air laut. Kotoran manusia mengandung 6 mg klorida untuk setiap orang/hari. Pengolahan secara konvensional masih kurang berhasil untuk menghilangkan bahan ini, dan dengan adanya klorida di dalam air, maka menunjukkan bahwa air tersebut telah mengalami pencemaran atau mendapatkan rembesan dari air laut.
- Logam Berat: Nikel (Ni), magnesium (Mg), timbal (Pb), kromium (Cr), kadmium (Cd), seng (Zn), tembaga (Cu), besi (Fe) dan air raksa (Hg) adalah contoh dari logam berat. Beberapa jenis logam biasanya dipergunakan untuk pertumbuhan kehidupan biologis, misalnya pada pertumbuhan algae apabila tidak ada logam pertumbuhannya terhambat. Akan tetapi, apabila jumlahnya berlebihan akan mempengaruhi kegunaannya karena timbulnya daya racun yang dimiliki. Oleh karena itu, keberadaan zat ini perlu diawasi jumlahnya di dalam air limbah.

**Universitas Indonesia**

### 2.5.3 Karakteristik Biologis

Karakteristik biologi ini diperlukan untuk mengukur kualitas air terutama bagi air yang dipergunakan sebagai air minum dan air bersih. Selain itu, untuk menaksir tingkat kekotoran air limbah sebelum dibuang ke badan air. Parameter yang seiring digunakan adalah banyaknya kandungan mikroorganisme yang ada dalam kandungan air limbah.

Mikroorganisme utama yang dijumpai pada pengolahan air buangan adalah :

1. Bakteri dengan berbagai bentuk (batang, bulat, spiral ). Bakteri *Escherichia coli* merupakan bakteri yang dapat dijadikan sebagai indikator polusi pada buangan manusia.
2. Jamur. merupakan organisme yang mendekomposisikan karbon di biosfer dan dapat memecah materi organik, dapat hidup dalam pH rendah, suhu rendah dan juga area rendah.
3. Algae. Dapat menyebabkan busa dan mengalami perkembangan yang pesat. Algae menjadi sumber makanan ikan, bakteri yang akibatnya adalah kondisi anaerobik.
4. Protozoa.
5. Virus.

## 2.6 Standar Air Buangan

### 2.6.1 Stream Standard

*Stream standard* menggambarkan kualitas badan air pada kondisi saat dimasukkannya air buangan ke badan air tersebut. Standar ini sangat terpengaruh oleh kualitas badan air itu sendiri yang selama pengalirannya mengalami perubahan debit dan kualitas. Walaupun demikian, standar ini cukup bagus karena memperhatikan kemampuan badan air untuk menerima air buangan, terutama bila sumber air buangannya lebih dari satu, sehingga diharapkan dapat terjadi *self-purification* di dalam badan air. Kesulitan yang dihadapi dalam penerapannya adalah memprediksi fluktuasi debit dan kualitas badan air penerima. *Stream standard* merupakan ambang batas yang ditentukan sebagai syarat kualitas akhir

badan air penerima, dengan memperhatikan kemampuan sungai untuk menerima air buangan, pengenceran dan *self purification*. *Stream standard* pada umumnya digunakan pada sungai yang kondisinya masih baik.

### 2.6.2 Effluent Standard

*Effluent standard* merupakan suatu batasan atau baku mutu konsentrasi air buangan yang boleh dikeluarkan dan dibuang ke badan air penerima tanpa memperhatikan kondisi badan air penerima. Standard ini lebih baik untuk digunakan karena lebih aman dari terjadinya pencemaran. Akan tetapi penetapan standar ini akan lebih memberatkan pada pelaku usahawan karena beban yang harus diolah oleh instalasi pengolahan air limbah akan semakin berat. Sistem ini juga akan berakibat buruk apabila badan air penerima kering, sehingga badan air tersebut hanya akan berisi effluen air buangan dan akan mengalami kesulitan dalam melakukan *self purification*. Biasanya kriteria yang ditetapkan pada standard ini lebih ketat dibandingkan standard pertama, kecuali bila debit badan air penerima sangat kecil. Adapun beberapa hal yang dapat menjadi pertimbangan dalam pemilihan standard adalah :

1. Kondisi badan air penerima yang menyangkut segi kuantitas dan kualitas badan air dalam menerima limpasan air buangan. Dari segi kualitas adalah tentang pengaruh yang mungkin timbul bila badan air tersebut menerima buangan terutama menyangkut masalah pencemaran dan *self purification* (kemampuan memurnikan diri badan air tersebut). Sedangkan dari kuantitas adalah berkaitan dengan kemampuan badan air tersebut untuk mengencerkan air buangan yang diterimanya. Bila debit air buangan lebih besar dari debit badan air penerima maka penerapan *effluent standard* akan lebih baik karena memiliki *safety factor* yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan penggunaan *stream standard*.
2. Tata guna air atau pemanfaatannya dari badan air penerima tersebut, apabila badan air tersebut dijadikan sebagai badan air penerima hasil pengolahan air buangan, tidak akan mengganggu atau membahayakan pemanfaatannya.
3. Jumlah kegiatan yang menggunakan suatu badan air sebagai penerima hasil pengolahan air buangannya. Pada badan air dimana banyak kegiatan atau

industri yang membuang air hasil pengolahan air buangnya maka akan lebih baik jika diberlakukan *stream standard*.

## 2.7 Karakteristik Air Buangan

Untuk mengetahui lebih luas tentang air buangan, maka perlu diketahui juga secara detail mengenai kandungan yang ada di dalam air limbah dan juga sifat-sifatnya, yaitu:

- Sifat fisik
- Sifat kimia
- Sifat biologis

Tabel 2.3 Karakteristik Air Buangan Berdasarkan Sumber Pencemar

Karakteristik	Sumber
<b>Karakteristik Fisik</b>	
Warna	Domestik dan buangan industri, peluruhan alami materi organik
Bau	Dekomposisi air buangan, buangan industri
Partikel padat	Supply air domestik, buangan industri dan domestik, erosi tanah, <i>inflow/infiltration</i>
Suhu	Buangan domestik dan industri
<b>Karakteristik Kimia</b>	
<i>Organik</i>	
Karbohidrat	Buangan domestik, komersial dan industri
Lemak, minyak	Buangan domestik, komersial dan industri
Pestisida	Buangan pertanian
Fenol	Buangan industri
Protein	Buangan domestik, komersial dan industri

Polutan utama	Buangan domestik, komersial dan industri
Surfactants	Buangan domestik, komersial dan industri
Volatil organik	Buangan domestik, komersial dan industri
Lain-lain	Peluruhan alami dari material organik
<i>Inorganik</i>	
Alkalinitas	Buangan domestik, Supply air domestik, infiltrasi air tanah
Chlorida	Buangan domestik, Supply air domestik, infiltrasi air tanah
Logam berat	Buangan industri
Nitrogen	Buangan domestik dan pertanian
PH	Buangan domestik, komersial dan industri
Fosfor	Buangan domestik, komersial dan industri ; limpasan alami
Polutan utama	Buangan domestik, komersial dan industri
Sulfur	Buangan domestik, komersial dan industri; supply air domestik
Gas :	
H <sub>2</sub> S	Dekomposisi buangan domestik
Metan	Dekomposisi buangan domestik
Oksigen	Supply air domestik, infiltrasi air permukaan
<b>Karakteristik Biologi</b>	
Hewan	Anak sungai, dan bangunan pengolahan
Tumbuhan	Anak sungai, dan bangunan pengolahan
Protista :	

Eubakteria	Buangan domestik, infiltrasi dari air permukaan, bangunan pengolahan
Archaeobacteria	Buangan domestik, infiltrasi dari air permukaan, bangunan pengolahan
Virus	Buangan domestik

Sumber: Metcalf & Eddy, 1991

Selain itu, hal yang penting untuk diketahui untuk mengetahui karakteristik dari suatu pencemar, perlu diketahui sumber pencemar tersebut. Keberadaan sumber akan menentukan karakteristik dari pencemar. Berikut ini adalah tabel pencemar beserta penyebab keberadaan pencemar tersebut dalam air buangan:

Tabel 2.4 Pencemar Penting dan Penyebabnya

Sumber Pencemar	Alasan
Suspended Solid	Suspended Solid dapat mengakibatkan lumpur yang berlebih dan kondisi anaerobik ketika air buangan yang tidak diolah dialirkan ke lingkungan akuatik.
Organik yang dapat di degradasi secara biologi	Terdiri atas protein, karbohidrat, lemak. Diukur dengan BOD atau COD. Jika komponen ini berlebih menyebabkan berkurangnya sumber O <sub>2</sub> dan dapat menyebabkan kondisi infeksi.
Patogen	Penyakit menular dapat disebabkan oleh mikroorganisme patogen dalam air buangan.
Nutrisi	Baik nitrogen maupun fosfor bersama karbon jika berlebih dalam lingkungan air dapat menyebabkan pencemaran. Demikian pula jika nutrisi ini mencemari tanah akan mengakibatkan polusi air tanah.

Polutan utama	Baik komponen organik dan inorganik dapat menyebabkan kanker mutasi, cacat maupun penyakit akut.
Organik yang sukar diurai	Organik ini sulit diuraikan dengan metoda konvensional biasa. Contohnya : Surfactant, fenol, dan pestisida
Logam berat	Didapat dari aktivitas komersial dan industri. Logam ini harus dibuang jika air buangan hendak digunakan kembali.
Inorganik terlarut	Komponen inorganik seperti kalsium, sodium, dan sulfat yang terdapat pada supply air domestik. Senyawa inorganik harus dibuang jika air akan dipergunakan kembali.

Sumber: Metcalf & Eddy, 2004

### 2.7.1 Karakteristik Fisik Air Buangan

Penentuan derajat kekotoran air limbah sangat dipengaruhi oleh adanya sifat fisik yang mudah terlihat yaitu kandungan zat padat sebagai efek estetika dan kejernihan serta bau dan warna juga temperatur.

Jumlah endapan pada sampel air merupakan sisa penguapan dari sampel air limbah pada suhu 103-105<sup>0</sup>C. Beberapa komposisi air limbah akan hilang apabila dilakukan pemanasan secara lambat. Jumlah total endapan terdiri dari benda-benda yang mengendap, terlarut, tercampur. Untuk melakukan pemeriksaan ini dapat dilakukan dengan mengadakan pemisahan air buangan dengan memperhatikan besar kecilnya partikel yang ada di dalamnya. Air limbah yang mengandung partikel dengan ukuran besar memudahkan proses pengendapan yang berlangsung, sedangkan apabila air limbah tersebut berisi partikel yang sangat kecil ukurannya akan menyulitkan dalam proses pengendapan, sehingga harus dipilih cara pengendapan yang lebih baik dan menggunakan teknologi yang lebih canggih.

Universitas Indonesia

Penggolongan penyaringan partikel berdasarkan ukuran inilah yang digunakan sebagai pertimbangan, sehingga pada tes analitik dilakukan pemisahan menjadi 3 golongan besar, yaitu:

- Golongan zat yang mengendap
- Golongan zat yang bersifat koloid
- Golongan zat padat yang terlarut

### **2.7.2 Karakteristik kimia air buangan**

Kandungan bahan kimia yang ada dalam air limbah dapat merugikan lingkungan. Bahan organik terlarut dapat menghabiskan oksigen dalam limbah serta akan menimbulkan rasa dan bau yang tidak sedap pada pengolahan air bersih. Selain itu, akan lebih berbahaya apabila bahan tersebut merupakan bahan yang beracun. Adapun bahan kimia yang penting yang ada di dalam air limbah pada umumnya dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- **Bahan organik**

Air limbah dengan pengotoran yang sedang terdiri dari 75% benda-benda tercampur dan 40% dari zat padat yang dapat disaring adalah berupa bahan organik alami. Pada umumnya zat organik berisikan kombinasi dari karbon, hidrogen, dan oksigen bersama-sama dengan nitrogen. Elemen lainnya yang penting seperti belerang, fosfor, dan besi dapat juga dijumpai. Pada umumnya kandungan bahan organik yang dalam air buangan adalah 40-60% adalah protein, 25-50% berupa karbohidrat serta 10% lainnya berupa lemak atau minyak. Urea sebagai kandungan bahan terbanyak di dalam urine, merupakan bagian penting yang lain dalam bahan organik, sebab bahan ini diuraikan secara cepat dan jarang didapati urea yang tidak terurai berada di dalam air buangan.

Untuk menganalisis bahan organik secara keseluruhan adalah tidak spesifik dan tidak memberikan perbedaan yang komplit jika bahan organik berada dalam air buangan. Mikroba yang ada dalam air buangan akan menggunakan oksigen untuk mengoksidasi benda organik menjadi energi, bahan buangan, serta gas.

Jika bahan organik yang belum diolah dan dibuang ke badan air, maka bakteri akan menggunakan oksigen untuk proses pembusukannya. Oksigen diambil dari yang terlarut di dalam air, dan apabila pemberian oksigen tidak seimbang dengan kebutuhannya, maka oksigen yang terlarut akan turun mencapai titik nol, dengan demikian kehidupan dalam air akan mati. Untuk mengukur kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk menguraikan bahan organik dalam air limbah, digunakan satuan BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), dalam ukuran mg/L. Semakin tinggi angka BOD menunjukkan bahwa derajat pengotoran air limbah yang makin besar.

- Bahan anorganik

Beberapa komponen anorganik dari air limbah dan air alami adalah sangat penting untuk peningkatan dan pengawasan kualitas air minum. Jumlah kandungan bahan anorganik meningkat sejalan dan dipengaruhi oleh formasi geologis dari asal air atau limbah berasal.

1. Klorida

Kadar klorida di dalam air alami dihasilkan dari rembesan klorida yang ada dalam batuan dan tanah serta dari daerah pantai dan rembesan air laut. Kotoran manusia mengandung 6 mg klorida untuk setiap orang/hari. Pengolahan secara konvensional masih kurang berhasil untuk menghilangkan bahan ini, dan dengan adanya klorida di dalam air, maka menunjukkan bahwa air tersebut telah mengalami pencemaran atau mendapatkan rembesan dari air laut.

2. Kebasaan (Alkalinitas)

Kebasaan adalah hasil dari adanya hidroksi karbonat dan bikarbonat yang berupa kalsium, magnesium, sodium, potassium atau amoniak. Dalam hal ini, yang paling utama adalah basa yang diterimanya dalam penyediaan air, air tanah dan bahan tambahan selama digunakan di rumah. Dalam air alam alkalinitas sebagian besar disebabkan oleh adanya bikarbonat, dan sisanya oleh karbonat dan hidroksida. Pada keadaan tertentu (siang hari) adanya ganggang dan lumut dalam air

menyebabkan turunnya kadar karbon dioksida dan bikarbonat. Dalam keadaan seperti ini kadar karbonat dan hidroksida naik, dan menyebabkan pH larutan naik.

Jika dalam air buangan alkalinitas terlalu tinggi, air menjadi agresif dan menyebabkan karat pada pipa, sebaliknya jika alkalinitas rendah dan tidak seimbang dengan kesadahan dapat menyebabkan kerak  $\text{CaCO}_3$  pada dinding saluran yang dapat memperkecil penampang basah saluran. Alkalinitas tinggi juga menunjukkan adanya senyawa garam dari asam lemah seperti asam asetat, propionat, amoniak dan sulfit. Alkalinitas juga merupakan parameter pengontrol untuk anaerobic digester dan instalasi lumpur aktif.

### 3. Sulfur

Sulfur alami terjadi secara alami pada banyak penyediaan air dan juga pada air buangan. Sulfat dapat diubah menjadi sulfit dan hidrogen sulfit oleh bakteri pada situasi anaerob.



Kemudian  $\text{H}_2\text{S}$  dapat dioksidasi secara biologis menjadi asam sulfat, dan bahan ini adalah penyebab timbulnya karat pada sistem perpipaan dan apabila dibakar pada mesin akan menyebabkan kerusakan pada peralatan terutama apabila dilewatkan pada kondisi dingin dibawah titik bekunya. Sulfat diubah menjadi sulfit dalam tangki pencernaan lumpur.

### 4. Nitrogen

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

bakteri untuk sel tiruan dengan menghasilkan oksidasi ke nitrit atau nitrat. Nitrit akan cepat berubah menjadi nitrat melalui oksidasi.

#### 5. Fosfor

Fosfor ada di dalam air limbah melalui hasil buangan manusia, air seni, dan melalui komponen fosfat dapat digunakan untuk membuat sabun sebagai pembentuk buih. Dari setiap sumber tersebut akan menambah jumlah total dari fosfor. Sebagian fosfor pada limbah domestik adalah dalam bentuk anorganik dengan ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) meningkatkan sebanyak 25% dari seluruh total fosfat. Pada proses biologis dalam air limbah yang diolah jenis polifosfat ke dalam ortofosfat. Air limbah domestik banyak sekali mengandung nitrat dan fosfor.

#### 6. Gas

Banyak gas-gas terdapat dalam air. Oksigen ( $\text{O}_2$ ) adalah gas penting. Oksigen terlarut selalu diperlukan untuk pernafasan mikroorganisme aerob dan kehidupan lainnya. Apabila oksigen berada pada nilai ambang rendah, maka bau-bauan yang berbahaya akan dihasilkan, sebab unsur karbon berubah menjadi metan, termasuk  $\text{CO}_2$  dan sulfur. Sulfur akan berubah menjadi amonia ( $\text{NH}_3$ ) atau teroksidasi menjadi nitrit.

### 2.7.3 Karakteristik Biologis Air Limbah

Karakteristik biologi ini diperlukan untuk mengukur kualitas air terutama bagi air yang dipergunakan sebagai air minum dan air bersih. Selain itu, untuk menaksir tingkat kekotoran air limbah sebelum dibuang ke badan air. Parameter yang seiring digunakan adalah banyaknya kandungan mikroorganisme yang ada dalam kandungan air limbah.

Mikroorganisme utama yang dijumpai pada pengolahan air buangan adalah :

- Bakteri dengan berbagai bentuk (batang, bulat, spiral ). Bakteri *Escherichia coli* merupakan bakteri yang dapat dijadikan sebagai indikator polusi pada buangan manusia.
- Jamur. merupakan organisme yang mendekomposisikan karbon di biosfer dan dapat memecah materi organik, dapat hidup dalam pH rendah, suhu rendah dan juga area rendah.
- Algae. Dapat menyebabkan busa dan mengalami perkembangan yang pesat. Algae menjadi sumber makanan ikan, bakteri yang akibatnya adalah kondisi anaerobik.
- Protozoa.
- Virus.

## 2.8 Pemanfaatan Tangki Septik (*Septic tank*)

Tingginya beban limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan rumah sakit mengharuskan ketersediaan tangki septik sebagai *treatment* awal bagi air limbah. Buangan manusia atau yang lebih dikenal dengan ekskreta mengandung bakteri patogen dengan konsentrasi tinggi seperti virus, bakteri, protozoa dan sebagainya. Terutama ekskreta yang ditimbulkan oleh pasien yang dirawat di rumah sakit.

Salah satu proses didalam tangki septik adalah pertumbuhan mikroorganisme. Banyak mikroorganisme yang tumbuh, berkembang biak dan mati di dalam tangki septik ini. Hampir seluruhnya terikat dengan materi organik dan memisahkan diri dalam bentuk padat.

Didalam tangki septik ini terjadi pemisahan seperti halnya dalam bak sedimentasi. Khusus untuk mikroorganisme terutama mikroorganisme patogen yang terdapat di dalam influent tangki septik, sebagian turut mengendap bersama-sama dengan material organik tinja dan sebagian lagi yang tidak terendapkan turut dibawa oleh efluent dari tangki septik ke dalam rembesan atau saluran air buangan.

Pemanfaatan tangki septik untuk menangani ekskreta ini dari segi efisiensi dan biaya dapat dikatakan sebagai alternatif terbaik. Besarnya persentasi

penyisihan terhadap air buangan adalah seperti yang ditunjukkan oleh tabel berikut:

Tabel 2.5 Kadar Penyisihan Beberapa Parameter pada Tangki Septik

Parameter	Satuan	Air Buangan tangki septik		Kadar penyisihan
		Influent	Efluent	
BOD	Mg/L	240	63	85 %
TSS	Mg/L	300	56	81,64
E.Coli	Perliter	$4,6 \times 10^7$	$2,9 \times 10^6$	93,70
Telur Nematoda	perliter	804	29	96,39

Sumber : Mara dkk (1983), Mara dan Silva (1986)

Dengan persentase penyisihan yang sedemikian besar dan biaya yang murah serta teknologi yang relatif mudah, maka keberadaan tangki septik sudah tepat. Hanya saja dalam pemanfaatannya hendaknya memperhatikan kontrol serta penyedotan lumpur secara rutin.

## 2.8 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)

### 2.8.1 *Pre Treatment* ( Pengolahan Pedahuluan)

Ditujukan untuk menghilangkan bahan-bahan yang dapat mengganggu proses atau unit-unit pengolahan. Pengolahan pendahuluan sangat penting sebagai dasar berhasil atau tidaknya proses pengolahan selanjutnya

- **Bar Screen**

Berfungsi untuk menyaring benda-benda kasar yang terdapat pada air limbah. Bar Screen umumnya dibuat dari batangan besi atau baja yang dipasang sejajar membentuk kerangka yang kuat. Kisi-kisi tersebut dipasang melintang pada saluran sebelum unit pengolahan selanjutnya, membentuk sudut  $30^\circ$  sampai  $60^\circ$  terhadap bidang datar saluran (*Seelye, 1960*).

- **Ekualisasi**

Ekualisasi digunakan untuk mengatasi permasalahan operasional yang disebabkan oleh variasi debit, untuk meningkatkan kinerja proses selanjutnya, dan untuk meminimalkan ukuran dan pengurangan biaya dari fasilitas [12].

Menurut Metcalf dan Eddy (2004), Parameter desain yang penting pada unit ekualisasi adalah waktu tinggal ( $t_d < 2$ jam) dan kedalaman bak (1,5 – 2 m).

### 2.8.2 Secondary Treatment (Pengolahan Tingkat Kedua)

Pengolahan tahap kedua pada prinsipnya bertujuan menghilangkan zat organik terlarut dan *suspended solid* didalam limbah cair [12]. Berikut pengolahan tingkat kedua yang umum digunakan dalam sistem pengolahan limbah cair:

- **Sedimentasi**

Sedimentasi dapat berbentuk segi empat atau lingkaran. Pada saat ini aliran air limbah sangat tenang untuk mengendap. Kriteria-kriteria yang diperlukan untuk menentukan ukuran bak sedimentasi adalah : surface loading (beban permukaan), kedalaman bak, dan waktu tinggal. Cara menghitung beban permukaan adalah:

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

$V_o$  = laju limpahan / beban permukaan ( $m^3/m^2$ hari)

$Q$  = aliran rata-rata harian ( $m^3$ /hari)

$A$  = total luas permukaan ( $m^2$ )

Surface loading sering juga disebut dengan istilah overflow rate.

Tabel 2.6 Kriteria Desain Unit Sedimentasi

No	Parameter	Simbol	Satuan	Besaran
1	Waktu detensi	$t_d$	Jam	1-2
2	Overflow rate	$V_o$	$m^3/m^2$ hari	20-30
3	Beban pelimpah		$m^3/m^2$ hari	124-370
4	Kedalaman	$D$	m	3-6

Sumber: *Wastewater Treatment*, Syed R. Qasim, 1985

Waktu tinggal dihitung dengan membagi volume bak dengan laju aliran masuk.

$$t = 24xV / Q$$

$t$  = waktu tinggal (jam)

Universitas Indonesia

V = volume bak ( $m^3$ )

Q = laju rata-rata harian ( $m^3$ /hari)

Sedangkan untuk menghitung persentase removal dari BOD dan TSS pada unit sedimentasi adalah dengan menggunakan rumus [13]:

$$\% \text{ BOD Removal} = \frac{BOD_{in} - BOD_{out}}{BOD_{in}} \times 100\%$$

$$\% \text{ TSS Removal} = \frac{TSS_{in} - TSS_{out}}{TSS_{in}} \times 100\%$$

Selain beberapa perhitungan tersebut, pada unit clarifier ini dapat pula dihitung produksi lumpur removal rate dari produksi lumpur adalah 63% [13]. Berikut ini adalah cara perhitungan yang digunakan:

- Jumlah produksi lumpur perhari  
= Nilai TSS Influent ( $g/m^3$ ) x Removal Rate Lumpur x (debit rata-rata limbah ( $m^3/s$ )) x 86.400 s/d x kg/1000g

- Produksi lumpur unit clarifier setiap menit

Untuk menghitung produksi lumpur permenit di unit clarifier ini, maka akan digunakan asumsi bahwa specific gravity dari lumpur adalah 1,03, dan lumpur mengandung 4,5% solid

Produksi lumpur unit clarifier setiap menit

$$= \frac{\text{produksilumpurperhari} (kg / hari)}{1,03 \times \frac{1g}{cm^3} \times \frac{1}{1000g / kg} \times 0,045 \times (100cm)^3 / m^3 \times 1440 \text{min} / \text{day}}$$

- Menghitung kapasitas pompa

$$= \frac{\text{Produksi Lumpur permenit} (m^3 / \text{menit}) \times 18 \text{menit} / \text{siklus}}{1,5 \text{menit} \text{pompa} / \text{siklus}}$$

- **Bioreaktor**

Bioreaktor atau dikenal juga dengan nama fermentor adalah sebuah sistem yang mampu menyediakan sebuah lingkungan biologis yang dapat

Universitas Indonesia

menunjang terjadinya reaksi biokimia dari bahan mentah menjadi materi yang dikehendaki [17]. Reaksi biokimia yang terjadi di dalam bioreaktor melibatkan organisme atau komponen biokimia aktif (enzim) yang berasal dari organisme tertentu, baik secara aerobik maupun anaerobik. Sementara itu, agens biologis yang digunakan dapat berada dalam keadaan tersuspensi atau terimobilisasi [18].

Komponen utama bioreaktor terdiri atas tangki, sparger, impeller, saringan halus atau baffle dan sensor untuk mengontrol parameter [19]. Tanki berfungsi untuk menampung campuran substrat, sel mikroorganisme, serta produk. Volume tanki skala laboratorium berkisar antara 1 – 30 L, sedangkan untuk skala industri dapat mencapai lebih dari 1 000 L [19].

- Sparger terletak di bagian bawah bioreaktor dan berperan untuk memompa udara, dan mencegah pembentukan gelembung oksigen.
- Impeller berperan dalam agitasi dengan mengaduk campuran substrat dan sel. Impeller digerakkan oleh rotor.
- Baffle berperan untuk mencegah terjadinya efek pusaran air akibat agitasi yang dapat mengganggu agitasi yang seharusnya.
- Sensor berperan untuk mengontrol lingkungan dalam bioreaktor [20]. Kontrol fisika meliputi sensor suhu, tekanan, agitasi, foam, dan kecepatan aliran. Sedangkan, kontrol kimia meliputi sensor pH, kadar oksigen, dan perubahan komposisi medium.

Pada prinsipnya, terdapat dua komponen penting dalam proses biologis, yaitu biokatalis (berupa enzim atau sel makhluk hidup) dan kondisi lingkungan. Untuk berlangsungnya setiap reaksi metabolisme sel dibutuhkan enzim spesifik yang bertindak sebagai biokatalis. Bahan penyusun utama biokatalis berupa protein, yang dapat berfungsi pada lingkungan yang sesuai. Lingkungan optimal dapat dicapai dengan menempatkan biokatalis dalam wahana yang disebut dengan bioreaktor.

Bioreaktor memberikan lingkungan fisik sehingga sel/biokatalis dapat melakukan interaksi dengan lingkungan dan nutrisi yang dimasukkan ke

dalamnya. Bioreaktor sebagai wahana bioproses memegang peranan penting untuk mendayagunakan reaksi-reaksi biokimiawi yang dilakukan oleh enzim atau sel (mikroba, tanaman, dan hewan). Pemilihan bioreaktor sangat ditentukan oleh jenis makhluk hidup yang digunakan, sifat media tumbuh makhluk hidup tersebut, parameter bioproses yang akan dicapai, dan faktor-faktor produksi.

Optimalisasi proses biologis dalam bioreaktor dapat diperoleh dengan memperhatikan beberapa hal sebagai berikut:

- Sumber energi
- Nutrisi
- Inokulum sel atau makhluk hidup yang unggul
- Kondisi fisikokimiawi yang optimal

Fungsi utama bioreaktor adalah dapat memberi kondisi lingkungan optimal dan terkendali dengan baik bagi biokatalis. Dengan demikian ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan dalam perancangan bioreaktor, yaitu:

- Bentuk bioreaktor mudah untuk dioperasikan dan mudah pula dalam pemeliharaan.
- Aerasi dan agitasi harus dapat diatur sesuai dengan kebutuhan biokatalis untuk melakukan metabolisme secara optimal.
- Konsumsi energi untuk pengoperasian dibuat seminimal mungkin.
- Pengendalian suhu, pH, dan faktor fisikokimia lain merupakan bagian perlengkapan bioreaktor.
- Fasilitas pengambilan contoh sangat diperlukan untuk pengukuran parameter yang berguna dalam pemantauan kinerja bioreaktor.
- Proses evaporasi diupayakan tidak berlebihan.
- Bentuk geometri serupa pada penggandaan skala, karena umumnya bioreaktor diuji terlebih dahulu dalam skala kecil.

Untuk kriteria desain dari reaktor, adalah seperti pada tabel dibawah ini

Tabel 2.7 Kriteria Desain Bioreaktor

Kriteria Desain	Dimensi
Tinggi (kedalaman reaktor)	1,8 – 9,1 m
Lebar Tangki	1,5 – 2 kali tinggi tangki
Panjang tangki	5 kali lebar tangki

Sumber : Reynold dan Richard, 1996

- **Lumpur Aktif (Activated Sludge)**

Proses pengolahan air limbah secara biologis dengan sistem biakan tersuspensi telah digunakan secara luas di seluruh dunia untuk pengolahan air limbah domestik. Proses ini secara prinsip merupakan proses aerobik dimana senyawa organik dioksidasi menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O, NH<sub>4</sub> dan sel biomassa baru. Untuk suplai oksigen biasanya dengan menghembuskan udara secara mekanik. Sistem pengolahan air limbah dengan biakan tersuspensi yang paling umum dan telah digunakan secara luas yakni proses pengolahan dengan sistem lumpur aktif (*activated sludge processes*).

Sedangkan parameter penting dalam pengolahan lumpur aktif adalah :

- Beban BOD (*BOD loading rate* atau *volumetric loading rate*). Beban BOD adalah jumlah massa BOD di dalam air limbah yang masuk dibagi volume reaktor. Persamaan yang digunakan adalah :

$$\text{Beban BOD} = \frac{Q \times S_0}{V}$$

Q = debit air limbah, m<sup>3</sup>/hari

S<sub>0</sub> = konsentrasi BOD dalam air limbah yang masuk, kg/m<sup>3</sup>

V = volume reaktor, m<sup>3</sup>

- *Mixed liquor suspended solid* (MLSS). Isi di dalam bak aerasi pada proses pengolahan limbah dengan sistem lumpur aktif disebut sebagai *Mixed liquor* yang merupakan campuran antara air limbah dengan biomassa mikroorganisme serta padatan tersuspensi lainnya. MLSS adalah jumlah

Universitas Indonesia

total dari padatan tersuspensi yang berupa material organik dan mineral, termasuk di dalamnya adalah mikroorganisme

- *Mixed liquor volatile suspended solid* (MLVSS). Porsi material organik pada MLSS diwakili oleh MLVSS, yang berisi material organik bukan mikroba, mikroba hidup dan mati, dan hancuran sel.
- *Food to microorganism ratio* atau *food to mass ratio*, disingkat *F/M ratio*. Parameter ini menunjukkan jumlah zat organik (BOD) yang dihilangkan dibagi dengan jumlah massa mikroorganisme di dalam bak aerasi atau reaktor. Biasanya nilai *F/M ratio* umumnya ditunjukkan dalam kilogram BOD per kilogram MLSS per hari. Persamaannya adalah :

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

Q = debit air limbah, m<sup>3</sup>/hari

S<sub>0</sub> = konsentrasi BOD dalam air limbah yang masuk, kg/m<sup>3</sup>

S = konsentrasi BOD dalam air limbah yang keluar, kg/m<sup>3</sup>

V = volume reaktor, m<sup>3</sup>

MLSS = *Mixed liquor suspended solids*, kg/m<sup>3</sup>

- *Hydraulic retention time* (HRT). Waktu tinggal hidrolis (HRT) adalah waktu rata-rata yang dibutuhkan oleh larutan untuk masuk dalam tangki aerasi untuk proses lumpur aktif. Nilainya berbanding terbalik dengan laju pengenceran. Persamaan yang digunakan :

$$HRT = 1/D = V/Q$$

V = volume reaktor bak aerasi, m<sup>3</sup>

Q = debit air limbah, m<sup>3</sup>/jam

D = laju pengenceran, jam<sup>-1</sup>

- Rasio sirkulasi lumpur. Rasio sirkulasi lumpur adalah perbandingan antara jumlah lumpur yang disirkulasi ke bak aerasi dengan jumlah air limbah yang masuk ke bak aerasi.
- Umur lumpur, atau sering disebut waktu tinggal rata-rata sel (*mean cell resident time*). Parameter ini menunjukkan waktu tinggal rata-rata

mikroorganisme dalam sistem lumpur aktif. Jika HRT memerlukan waktu dalam jam, maka waktu tinggal sel mikroba dalam bak aerasi dapat dalam hitungan hari. Parameter ini berbanding terbalik dengan laju pertumbuhan mikroba. Persamaan yang digunakan adalah :

$$\text{umurlumpur(hari)} = \frac{MLSS \times V}{SS_e \times Q_e + SS_w \times Q_w}$$

MLSS = *Mixed liquor suspended solids*, kg/m<sup>3</sup>

V = volume reaktor bak aerasi, m<sup>3</sup>

SS<sub>e</sub> = padatan tersuspensi dalam efluen, mg/l

SS<sub>w</sub> = padatan tersuspensi dalam lumpur limbah, mg/l

Q<sub>e</sub> = laju efluen limbah, m<sup>3</sup>/hari

Q<sub>w</sub> = laju influen limbah, m<sup>3</sup>/hari

- SVI (*Sludge Volume Index*). Volume mengendap *sludge* dari satu liter sampel selama 30 menit dibagi berat *sludge* kering per 1 liter *sludge*. Harga SVI < 100 dapat mengendap dengan baik, sedangkan SVI > 100 terjadi bulking. Pada pengolahan lumpur aktif secara konvensional dengan MLSS < 3.500 mg/l diperoleh nilai SVI normal antara 50 hingga 150 ml/gr.

Tabel 2.8 Kriteria Desain untuk Conventional Activated Sludge

Tipe Activated Sludge	$\theta_c$ day <sup>-1</sup>	F/M kg BOD/kg	V <sub>L</sub> kg BOD/m <sup>3</sup>	$\theta$ hour	MLSS mg/L	Recycle ratio, Q <sub>r</sub> /Q	Flow regime	Efisiensi penyisihan BOD, %	Suplai udara, m <sup>3</sup> /kg BOD <sub>5</sub>
Conventional Activated Sludge	4-15	0.2-0.4	0.3-0.6	4-8	1500- 3000	0.25-0.50	PF	85-95	45-90

Sumber: Metcalf & Eddy, 2004

### 2.8.3 *Tertiary Treatment* (Pengolahan Tingkat Ketiga)

Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan-pengolahan terdahulu. Oleh karena itu, pengolahan jenis ini baru akan dipergunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua masih banyak terdapat zat tertentu yang masih berbahaya bagi masyarakat umum.

- **Filtrasi**

Filtrasi merupakan pemisahan padat-cairan dimana cairan melewati media atau material untuk menyaring sebanyak mungkin *suspended solids*. Pada pengolahan air buangan filtrasi digunakan untuk menyaring efluen dari pengolahan tahap kedua, yang telah diolah secara kimia, dan air limbah yang diolah menggunakan bahan kimia. Kecepatan filtrasi untuk jenis *open filter* konvensional adalah 4 – 10 m/jam. Dimana kecepatan aliran pada bak filtrasi dapat dihitung dengan rumus  $V_a = Q/A$ .

- **Disinfeksi / Klorinasi**

Disinfeksi adalah proses untuk membunuh mikroorganisme patogen [14]. Disinfeksi dapat menggunakan klor, ozon, dan sinar ultraviolet. Desinfeksi dengan menggunakan klor selain dapat membunuh mikroorganisme patogen, juga dapat menghilangkan amoniak.

Proses ini merupakan proses terakhir dalam pengolahan air buangan, yaitu dengan membubuhkan klor yang bertujuan untuk :

- Penurunan ammonia bebas dengan breakpoint chlorination
- Mereduksi bakteri golongan Coli dengan penambahan chlor sampai melewati break event point, sehingga terdapat chlor bebas.

Desinfeksi berfungsi untuk menghilangkan bakteri yang terdapat dalam air buangan, khususnya bakteri golongan coli. Desinfeksi yang sering digunakan adalah Chlor ( $Cl_2$ ) atau kaporit ( $Ca(OCl)_2$ ). Sebelum digunakan kaporit ini dilarutkan dalam air. Kadar Chlor dalam kaporit umumnya 70 %, sedang kadar Klor dalam  $Cl_2$  dipasaran sampai 65 %. Untuk mendapatkan

hasil yang baik, maka pencampuran chlor dan air buangan harus dibuat dengan dosis yang tepat.

#### 2.8.4 Pengolahan Lumpur

Sludge drying beds merupakan salah satu teknik pengeringan lumpur konvensional yang banyak digunakan. Tipikal lapisan terdiri dari pasir kasar dengan tebal 15 – 25 cm di dasarnya dan lapisan di atasnya di beri batu pecah. Di dasar juga diberi effluent berupa pipa berlubang sebagai underdrainnya. Effluent dari underdrain terkadang juga dikembalikan lagi ke unit pengolahan. Tipikal bentuk sludge drying bed umumnya persegi panjang . Lumpur dihamparkan pada beds dengan ketebalan 20 – 30 cm dan dibiarkan mengering. Periode pengeringan umumnya 10 – 15 hari.

Menurut Syed Qasim (1985) kriteria desain SDB adalah sebagai berikut:

- Loading rate = 150 – 400 kg/m<sup>2</sup>.tahun
- Tebal lapisan lumpur = 20 – 30 cm
- Tebal lapisan bed = 20 – 60 cm
- Rasio P:L = 1 – 4

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

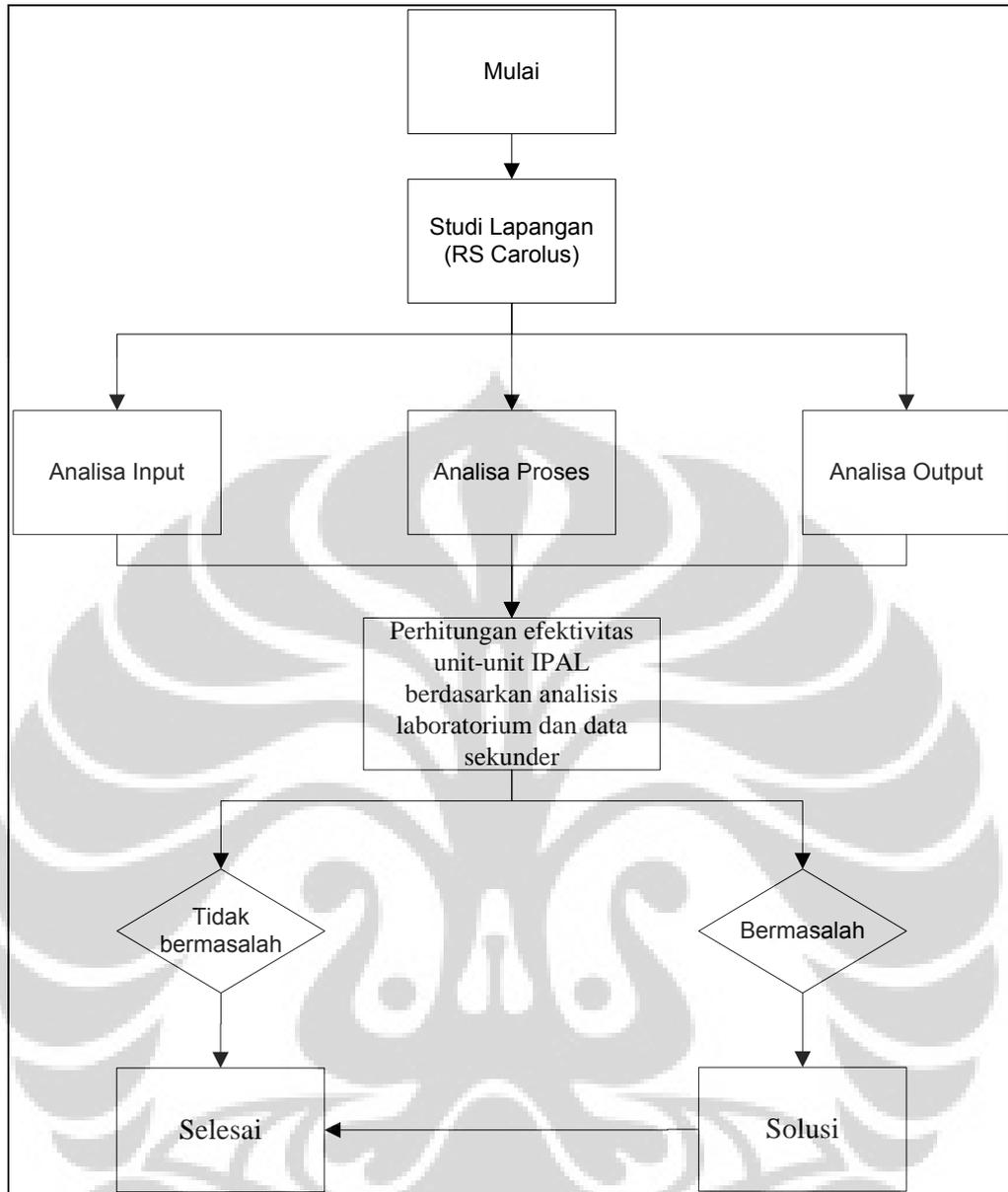
Penelitian ini difokuskan pada evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) rumah sakit St. Carolus Jakarta.

#### **3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN**

Pada penelitian ini, akan dilakukan studi lapangan di rumah sakit yang akan dijadikan lokasi studi kasus, yaitu rumah sakit St. Carolus, Jakarta. Di lokasi studi kasus ini akan dilakukan evaluasi terkait dengan efektifitas Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) rumah sakit St. Carolus, Jakarta. Evaluasi yang akan dilakukan adalah pada bangunan pengolahan air limbah yang ada, dikaitkan dengan input yang masuk, proses yang berjalan pada unit-unit yang ada di rumah sakit sebagai penghasil limbah, termasuk pada limbah yang dihasilkan di akhir proses (*end of pipe*).

Evaluasi yang akan dilakukan adalah komparasi (perbandingan) antara *output* air limbah yang keluar dari unit pengolahan air limbah dengan baku mutu yang diizinkan oleh pemerintah, dalam hal ini mengacu pada **Peraturan Gubernur DKI Jakarta No. 122 Tahun 2005** Tentang Limbah Cair Domestik.

Pada penelitian ini, data yang akan digunakan untuk mengevaluasi IPAL rumah sakit St. Carolus adalah data sekunder yang diperoleh dari pihak rumah sakit, serta data hasil analisis di laboratorium berdasarkan hasil sampling terhadap kualitas limbah cair pada unit pengolahan. Adapun diagram alir penelitian yang akan dilakukan digambarkan seperti bagan berikut:

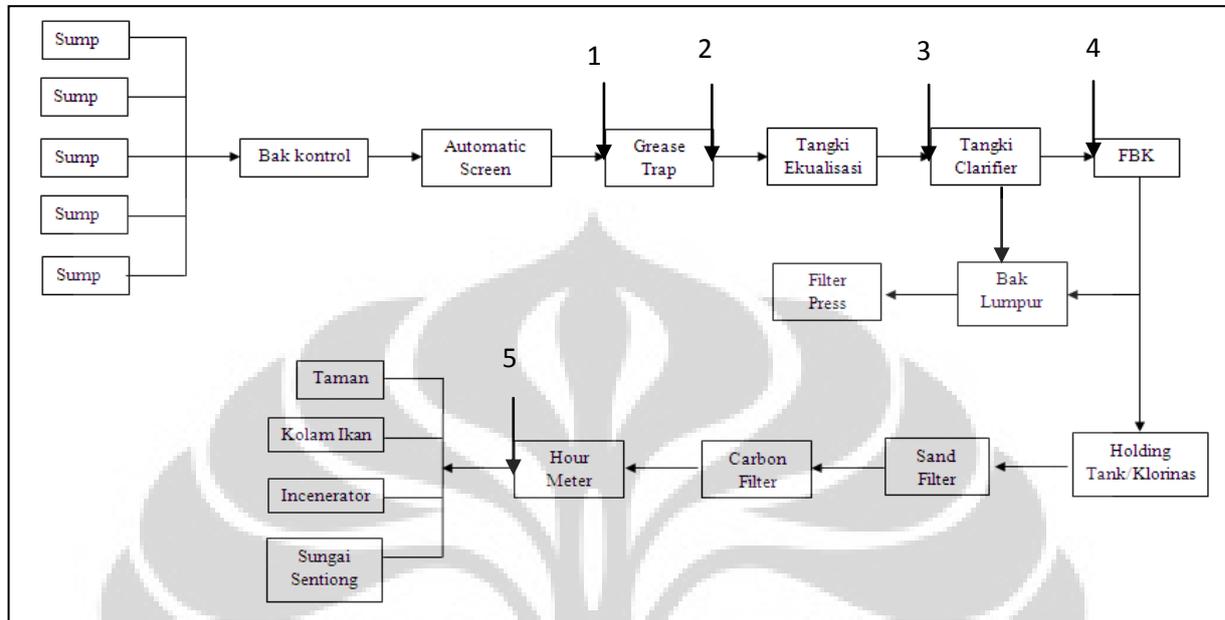


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian  
Sumber: Hasil Olahan

#### - **Penentuan Lokasi Pengambilan Sampel Air Limbah**

Untuk mengevaluasi efektifitas dari unit Instalasi Pengolahan Air Limbah yang sudah ada, maka perlu adanya pemeriksaan terhadap kualitas air buangan dari inlet dan outlet IPAL tersebut. Teknik sampling yang digunakan adalah grab sampling. Selain karena efisien, teknik grab sampling ini dianggap dapat mewakili data kualitas air buangan dalam rentang waktu fluktuasi tertentu.

Sampel diambil pada beberapa titik yang telah ditentukan (yaitu titik 1,2,3,4 dan 5). Seperti yang ditunjukkan oleh gambar berikut:



Gambar 3.2. Titik Pengambilan Sampel Air Limbah

Sumber : Data Penelitian

Pemilihan titik-titik tersebut didasarkan pada analisa kebutuhan data untuk perhitungan unit-unit IPAL berdasarkan teori yang ada. Pemeriksaan parameter bahan pencemar air limbah dilakukan di laboratorium air Program Studi Teknik Lingkungan, Departemen Teknik Sipil FTUI dan di laboratorium afiliasi FMIPA UI. Sedangkan untuk parameter suhu dan pH air limbah dilakukan secara langsung di lapangan.

#### - Pengambilan Sampel Air Limbah dan Pengujian di Laboratorium

Pada penelitian ini, sampel air limbah diambil pada titik seperti yang terdapat pada gambar diatas. Untuk masing-masing titik, pengambilan air limbah dilakukan secara grab sampling agar sampel air yang diambil dapat mewakili kualitas air limbah yang akan di uji di laboratorium. Untuk parameter pH, BOD, COD, TSS, Ammonia, Phosfat dan Nitrogen, pengukuran sampel dilakukan di laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sedangkan parameter berupa minyak lemak, MBAS dan zat organik

KMnO<sub>4</sub>, pengujian dilakukan di laboratorium Afiliasi, Departemen Kimia, FMIPA UI.

Setelah sampel air limbah diambil di lokasi penelitian, maka sampel ini akan dimasukkan ke wadah yang telah disediakan, dalam hal ini botol air mineral berukuran 600 ml. Selanjutnya, keseluruhan sampel air limbah dibawa ke laboratorium untuk diuji pada hari yang sama. Hal ini dimaksudkan agar kualitas sampel tidak berubah karena penyimpanan yang terlalu lama. Dalam pelaksanaannya, praktikum di laboratorium dilakukan menggunakan metode yang telah dipelajari sebelumnya pada mata kuliah kimia lingkungan.

#### - **Evaluasi Berdasarkan Data Sekunder**

Selain evaluasi berupa analisis laboratorium, penelitian akan dilanjutkan dengan evaluasi efektifitas IPAL rumah sakit St.Carolus berdasarkan data sekunder. Secara umum dijelaskan sebagai berikut :

1. Evaluasi kondisi Eksisting IPAL Rumah Sakit St.Carolus:\
  - Analisa Input :
    - a. Jumlah pasien perhari
    - b. Jumlah Dokter, Perawat dan Pegawai Rumah Sakit
    - c. Jumlah Obat-obatan masuk, darah, bahan-bahan logistik (makanan)
  - Analisa Proses :
    - a. Unit yang ada di Rumah Sakit dalam kaitannya sebagai penghasil limbah
    - b. Kuantitas limbah cair yang dihasilkan tiap-tiap unit
    - c. Pola aliran (saluran limbah cair)
  - Analisa Output
    - a. Pola aliran limbah cair dari setiap unit yang ada di RS sampai ke IPAL
    - b. Kualitas dan kuantitas limbah cair yang masuk ke IPAL
    - c. Efektifitas setiap unit pada Instalasi Pengolah Air Limbah, dikaitkan dengan persentase penurunan kadar pencemar pada air limbah.

### **3.2 TEKNIK PENGOLAHAN DATA**

Berdasarkan data sekunder yang diperoleh dari studi lapangan ke IPAL Rumah Sakit ST. Carolus, tiap-tiap unit pengolahan akan dianalisis berdasarkan

teori yang ada pada literatur. Analisa ini meliputi perhitungan efektifitas unit pengolahan pada IPAL rumah sakit yang ditandai dengan persentase removal pencemar.

Perhitungan persentase removal pencemar ini didasarkan pada data kualitas air limbah pada inlet dan outlet IPAL. Data inlet dan outlet IPAL akan dibandingkan nilainya untuk mengetahui efisiensi IPAL. Perhitungan efisiensi tersebut berdasarkan pada rumus:

$$\% \text{ Removal} = \frac{(\text{NilaiParameterDiInlet} - \text{NilaiParameterDiOutlet})}{\text{NilaiParameterDiInlet}} \times 100\%$$

Evaluasi IPAL ini akan didasarkan pada besarnya persentase removal dan perbandingan kualitas effluent dengan baku mutu yang diizinkan (berdasarkan Peraturan Gubernur No.122 Tahun 2005 Tentang Limbah Cair Domestik).

Untuk data yang diperoleh dari analisis laboratorium, evaluasi akan dilakukan untuk masing-masing unit yang akan diketahui efektivitasnya. Dari perhitungan ini akan diketahui persentase removal kadar pencemar pada unit pengolahan tersebut. Adapun persentase removal kadar pencemar ditentukan dengan rumus:

$$\% \text{ BOD Removal} = \frac{\text{BODin} - \text{BODout}}{\text{BODin}} \times 100\%$$

$$\% \text{ TSS Removal} = \frac{\text{TSSin} - \text{TSSout}}{\text{TSSin}} \times 100\%$$

Besarnya persentase removal ini akan menjadi standar untuk mengevaluasi unit pengolahan fisik dan biologis yang terdapat pada IPAL rumah sakit St. Carolus.

## **BAB IV**

### **GAMBARAN UMUM RUMAH SAKIT ST. CAROLUS JAKARTA**

#### **4.1 Sejarah Pendirian Rumah Sakit ST. Carolus Jakarta**

Berdirinya Pelayanan Kesehatan St. Carolus diawali oleh kedatangan 10 Suster Carolus Borromeus pada 7 Oktober 1918 ke Batavia (Jakarta) dalam rangka membaktikan dirinya di dunia kesehatan Indonesia.

Rumah Sakit St. Carolus dibuka resmi oleh Perhimpunan Carolus pada 21 Januari 1919, dengan kapasitas awal 40 tempat tidur. Pada tahun 1967, untuk dapat melayani masyarakat yang memerlukan pertolongan dibuka P3K yang buka 24 jam dengan pelayanan tang langsung ditangani oleh dokter. Pelayanan P3K ini dilengkapi dengan PBIM (Pelayanan Bantuan Informasi Medis) dan merupakan cikal bakal UGD yang saat ini berkembang pesat.

Untuk lebih memasyarakat dan mencapai tujuan pelayanan, sejak 1969 berturut-turut didirikan Balai Kesehatan Masyarakat (Balkesmas) di 5 wilayah DKI Jakarta, yakni: Paseban, Tanjung priok, Klender, Cijantung dan Cengkareng. Balkesmas ini sekaligus sebagai pusat pelayanan kesehatan yang melayani semua tingkat sosial masyarakat secara paripurna dan terpadu (preventif, promotif, kuratif dan rehabilitatif). Pada tahun 1977 dibangun gedung "Semar" yang sebagian ruangnya diperuntukan bagi masyarakat yang kurang mampu. Biaya pembangunan gedung tersebut sebagian didapat dari sumbangan Bapak Soeharto yang menjabat Presiden RI saat itu.

Pada tahun 1970-an didirikan bangunan asrama karyawan dan mahasiswa, yang saat ini sebagian digunakan untuk perkantoran. Pada tahun 1989 saat ulang tahun Pelayanan Kesehatan St. Carolus (PKSC) ke-70, diresmikan penggunaan gedung medik oleh dr. Adyatma MPH yang menjabat Menteri Kesehatan saat itu. Gedung tersebut digunakan untuk UGD, Radiologi, Kamar Operasi, Ruang Perawatan Intensif dan Ruang Perawatan.

Sejak tahun 1997, berbagai penghargaan diberikan kepada rumah sakit ini, antara lain:

- 1997 RS Carolus terakreditasi penuh 5 bidang pelayanan
- 1997 Mendapat predikat RS Sayang Bayi
- 2001 RS Carolus terakreditasi 12 bidang
- 2007 RS Carolus mendapat predikat RS Sayang ibu dan bayi
- 2007 Mendapat penghargaan Lingkungan Hidup
- 2007 RS Carolus terakreditasi 17 bidang

## 4.2 Profil Rumah Sakit St. Carolus

Rumah sakit St. Carolus atau lebih dikenal dengan Pelayanan Kesehatan St. Carolus beralamat di jalan Salemba Raya No. 41. Saat ini, jumlah tempat tidur yang tersedia di Rumah Sakit St. Carolus adalah 398 TT.

Sejak tahun 1995, PK Sint Carolus telah lulus akreditasi Rumah Sakit yang dilaksanakan oleh Departemen Kesehatan RI. Proses akreditasi ini terus berkelanjutan hingga akreditasi terakhir tahun 2007 untuk 16 bidang pelayanan (Administrasi dan Manajemen, Pelayanan Medik, Pelayanan Keperawatan, Pelayanan UGD, Rekam Medik, Farmasi, Radiologi, Laboratorium, Kamar Operasi, Infeksi nosokomial, Rehabilitasi Medik, Pelayanan Perinatologi, Pelayanan Gizi, Pelayanan Intensif, K3 dan Pelayanan Bank Darah).

### 4.2.1 Sumber Daya Manusia

Banyak tenaga medis yang ada di Rumah sakit St. Carolus:

- Dokter umum dan gigi
- Dokter spesialis
- Paramedic perawat
- Paramedic non perawat

Sementara tenaga non medis yang ada di Rumah Sakit St. Carolus:

- Karyawan Administrasi
- Karyawan Unit AMDAL dan Sanitasi
- Karyawan kebersihan
- Satpam

- Karyawan Laundry

#### 4.2.2 Unit Penghasil Limbah

Adapun kegiatan rumah sakit yang menghasilkan limbah cair yang diolah pada unit IPAL antara lain :

- Unit rawat inap
- Unit rawat jalan
- Unit gawat darurat
- Dapur
- Laundry
- Laboratorium
- Kantin
- Unit Farmasi
- Pelayanan rumah duka
- Penunjang/perkantoran
- Pendidikan (STIK)
- Kamar bedah
- Kamar bersalin
- Unit hermodialisa
- Unit Radiologi

#### 4.3 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Rumah Sakit St. Carolus

Untuk turut menjaga kesehatan lingkungan, Rumah Sakit St. Carolus memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang dikelola langsung oleh pihak rumah sakit. Semua jenis limbah cair yang dihasilkan oleh kegiatan rumah sakit dikelola di Instalasi Pengolahan Air Limbah ini.

Limbah cair yang dihasilkan Rumah Sakit St. Carolus terdiri dari dua jenis, yaitu limbah cair domestik dan limbah kegiatan medis. Limbah domestik berasal dari kegiatan sehari-hari rumah sakit. Untuk limbah domestik yang bukan berasal dari toilet (WC) (*gray water*) masuk ke saluran pembuangan air limbah berupa

sump pit yang ditanam di pekarangan rumah sakit. Di rumah sakit St. Carolus ini terdapat 5 sump pit yang merupakan unit pengumpul limbah cair dari berbagai kegiatan di rumah sakit. Untuk limbah domestik dari toilet (*black water*) masuk ke tangki septik yang berada di masing-masing bangunan, baru kemudian limbah cair dari septik tank ini mengalir ke sump pit.

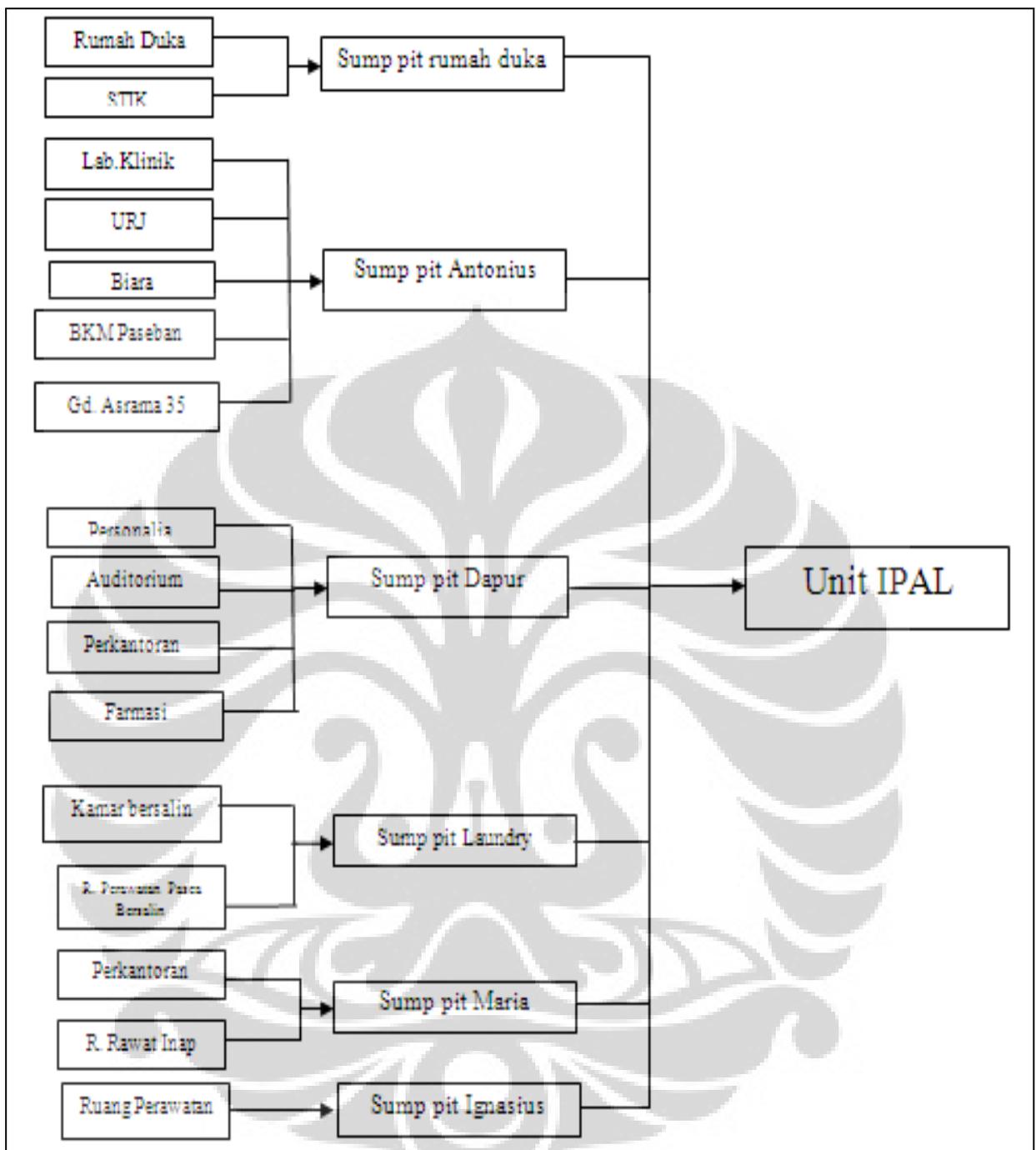
Hasil effluen IPAL dibuang menuju saluran drainase yang kemudian menuju Sungai Sentiong.

#### **4.3.1 Kondisi Eksisting Instalasi Pengolahan Air Limbah**

##### **A. Bak Penampung (*Sump Pit*)**

Air Limbah dari berbagai kegiatan rumah sakit, termasuk dari dapur setelah melalui saluran-saluran tertutup masuk ke dalam unit pengumpul air limbah (sump pit). Di rumah sakit ini terdapat 6 unit sump pit yang kesemuanya di tanam di pekarangan rumah sakit dengan lokasi yang berdekatan. Masing-masing sump pit menampung limbah cair dari kegiatan yang berbeda.

Sump pit ini merupakan unit pengumpul dengan kapasitas  $15\text{m}^3$  dengan dimensi  $2\text{m} \times 3\text{m} \times 2,5\text{m}$ . Dari berbagai kegiatan rumah sakit yang menghasilkan limbah, terdapat pipa-pipa atau saluran yang terhubung ke sump pit tertentu. Limbah cair dari kegiatan tersebut akan masuk ke sump pit sebelum akhirnya dialirkan ke unit IPAL. Sump pit ini dibuat dari material aluminium tahan karat dan berbentuk kotak. Pada masing-masing sump pit juga terdapat pipa yang berfungsi untuk memompakan limbah cair yang telah terkumpul di sump pit untuk masuk ke unit IPAL karena penyaluran air secara gravitasi tidak memungkinkan. Adapun sumber limbah cair yang masuk ke masing-masing sumpit digambarkan seperti bagan berikut ini:



Gambar 4.1 Bagan Sumber Air Limbah Sebelum Masuk ke Unit IPAL

Sumber : Rumah Sakit St. Carolus, 2010

Berdasarkan bagan tersebut, dapat diketahui bahwa masing-masing sump pit menampung limbah cair dari aktivitas yang berbeda.

- Sump pit rumah duka.

Merupakan sump pit yang posisinya paling dekat dengan rumah duka. Sump pit ini menampung limbah cair dari rumah duka dan Sekolah Tinggi Ilmu Keperawatan (STIK) yang terdapat di lingkungan RS Carolus Jakarta.

- Sump pit Antonius

Sump pit ini menampung air limbah dari kegiatan di laboratorium klinik, Unit Rawat Jalan, Biara, Balai Kesehatan Masyarakat Paseban, dan Gedung asrama 35 yang merupakan kantor sekretariat rumah sakit.

- Sump pit Dapur

Pada sump pit ini, air limbah yang ditampung adalah dari kegiatan di bagian dapur, personalis, Auditorium, Farmasi, dan perkantoran.

- Sump pit laundry

Disebut sump pit laundry, karena posisi paling dekat sump pit ini adalah dengan laundry. Selain dari kegiatan laundry, sump pit ini menampung limbah cair dari kegiatan di kamar bersalin, dan ruang perawatan pasca bersalin.

- Sump pit Maria

Sump pit ini menampung limbah cair dari kegiatan Perkantoran dan ruang rawat inap

- Sump pit Ignasius

Pada sump pit ini, limbah cair yang ditampung adalah dari kegiatan di seluruh ruang perawatan, termasuk dari ruang bedah.

Keseluruhan sump pit ini dilengkapi dengan satu unit panel kontrol dan WLC (Water Level Control) yang bisa disesuaikan penggunaannya, baik secara manual maupun secara otomatis. Agar bak penampung terjaga kebersihannya, maka pada bagian akhir setiap bak penampung dipasang saringan.

## B. Penyaring Otomatis (*Automatic Screen*)

Penyaring otomatis ini berfungsi untuk memisahkan lumpur padat/sampah dengan air limbah yang akan diolah. Unit ini dilengkapi dengan Screw Pump dan WLC yang bekerja secara otomatis. *Automatic screen* ini dibuat dari *stainless steel* yang tahan karat, dengan kapasitas 40L/detik.

## C. Bak Penangkap lemak (*Grease Trap*)

Setelah kotoran / partikel-partikel besar dipisahkan, air limbah masuk ke grease trap yang berfungsi untuk memisahkan lemak yang terkandung dalam air limbah sehingga tidak akan mengganggu kinerja unit selanjutnya.



Gambar 4.2 Unit Penangkap Lemak

Sumber : Dokumentasi Penulis

Grease trap ini terbuat dari material eton bertulang dan memiliki kapasitas  $2,25\text{m}^3$  dengan dimensi  $1\text{m} \times 1,5\text{m} \times 1,5\text{m}$ .

## D. Bak Ekualisasi (*Equalization Tank*)

Bak ekualisasi ini dibuat dari material beton bertulang dengan dimensi  $5\text{m} \times 6\text{m} \times 4,7\text{m}$  dengan kapasitas  $141\text{ m}^3$ . Bak ekualisasi berfungsi untuk menampung air limbah dari seluruh bak penampung. Disamping untuk menampung, bak ekualisasi juga berfungsi untuk menyamakan karakteristik air limbah sehingga fluktuasinya lebih kecil. Fluktuasi ini diusahakan selalu kecil karena akan berpengaruh pada pertumbuhan bakteri.



Gambar 4.3 Unit Equalisasi

Sumber : Dokumentasi Penulis

Pada unit ini terdapat dua unit jet aerator yang berfungsi sebagai agitator (pengaduk) dan pemasok oksigen ke dalam air limbah. Pada unit aerator ini tersedia timer untuk mengatur hidup matinya mesin yang diatur hidup 3 jam dan mati 15 menit. Limbah cair setelah diagitasi dan diaerasi dipompakan ke tangki klarifikasi (sedimentasi). Pompa submersible yang digunakan berkapasitas 36 m<sup>3</sup> per jam, sedangkan kapasitas sistem pengolahan limbah yang terpasang 25m<sup>3</sup> per jam, maka sebagian air limbah disirkulasi kembali ke bak ekualisasi.

#### **E. Pengaduk Statis (Static Mixer)**

Pengaduk statis ini berfungsi untuk mencampurkan air limbah dengan larutan bahan kimia (asam dan basa) yang digunakan untuk menetralkan pH air limbah yang akan masuk ke tangki klarifikasi (sedimentasi) karena kondisi pH sangat penting bagi pertumbuhan bakteri. pH yang diharapkan adalah antara 6-8. Asam yang digunakan adalah asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), sedangkan basa yang digunakan adalah Natrium Hidroksida (NaOH).

#### **F. Tangki Klarifikasi/Sedimentasi (*Clarifier Tank/ Sedimentation Tank*)**

Unit clarifier/sedimentasi ini memiliki kapasitas 54m<sup>3</sup> dengan dimensi 6m x 3m x 3m. Pada unit clarifier ini terjadi proses pengendapan lumpur. Dari unit ini, air yang telah terpisah dari lumpur akan masuk ke unit FBK Bioreaktor (*feed back cascade*)/ bak aerasi, sedangkan lumpur akan masuk ke bak lumpur (*sludge collector*).



Gambar 4.4 Unit Clarifier

Sumber : Dokumentasi Penulis

### G. Bak Lumpur (*Sludge Collector*)

Lumpur yang mengendap di tangki clarifier akan masuk ke bak pengumpul lumpur. Bak ini berbentuk kotak terbuat dari material beton bertulang dengan dimensi 1 m x 2 m x 1,5 m dan kapasitas 3 m<sup>3</sup>. Lumpur yang masuk ke unit ini berasal dari unit klarifikasi (sedimentasi) dan FBK-Bioreaktor (Aerasi).



Gambar 4.5 Bak Lumpur (*Sludge Collector*)

Sumber : Dokumentasi Penulis

Lumpur yang terkumpul di bak pengumpul lumpur ini akan di press menggunakan menggunakan filter press. Dari proses pressing ini, air yang dihasilkan akan masuk kepengolahan awal sedangkan padatan lumpurnya di bakar untuk dimanfaatkan pada fungsi yang lain.

### F. FBK –Bioreaktor (*Feedback cascade*) / Unit Aerasi

Air dari tangki clarifier yang telah terpisah dari lumpur akan masuk ke unit FBK-Bioreaktor / unit aerasi. Unit ini dibuat dengan menggunakan material

stainless steel dengan dimensi 8,4 m x 2,65 m x 2,8 m dan kapasitas 50m<sup>3</sup>. Unit ini juga dilengkapi dengan 1 unit kompresor untuk memenuhi kebutuhan oksigen.

FBK-Bioreaktor/unit aerasi ini merupakan sistem aerob dimana didalamnya terdapat elemen tempat bakteri berkembang membentuk film dan melekat serta tumbuh dan berkembang di permukaan FBK. Start-up pertama FBK Bioreaktor ditambahkan bakteri jenis NOGGIE 20 sesuai dengan kondisi limbah rumah sakit. Pertumbuhan bakteri akan maksimum apabila pH air limbah 5-9, suhu 8-40<sup>0</sup>C, dengan suhu optimum 30<sup>0</sup>C dan diberi nutrient berupa urea dan TSP apabila diperlukan.



Gambar 4.6 Unit FBK-Bioreaktor

Sumber : Dokumentasi Penulis

### **I. Tangki Penampung dan Klorinasi ( *Holding Tank and Chlorination* ) / Unit Disinfeksi**

Setelah air limbah mengalami pengolahan di unit FBK, air limbah akan masuk ke unit Holding tank. Pada unit ini air akan mengalami proses klorinasi. Holding tank ini memiliki kapasitas 4,5 m<sup>3</sup> dengan dimensi 1,5m x 1,5m x 1,5m. Unit holding tank ini terbuat dari material beton bertulang dan dilengkapi dengan 1 unit dosing pump, 1 unit tangki kimia dan 1 unit mixer.



Gambar 4.7 Unit Disinfeksi (kiri) dan Tangki Kimia berisi Disinfektan (kanan)

Sumber : Dokumentasi Penulis

Holding tank ini berfungsi untuk menampung sementara air limbah yang sudah diproses di unit FBK-Bioreaktor. Bak ini juga digunakan sebagai tempat untuk klorinasi dengan penambahan kaporit yang sekaligus akan terjadi proses koagulasi dari padatan partikel tersuspensi yang terikat dari FBK-Bioreaktor. Klorinasi pada bak ini menggunakan kaporit dengan konsentrasi 6,25 % sebanyak 0,5 L/jam secara otomatis.

#### J. Saringan Pasir dan Saringan Karbon (*Sand Filter dan Carbon Filter*)

Air limbah yang telah mengalami proses klorinasi di holding tank akan masuk ke unit sand filter dan selanjutnya ke unit carbon filter. Unit sand filter dan carbon filter ini berukuran 1,2 m x 2,2 m dengan laju filtrasi 25 m<sup>3</sup>/jam atau setara dengan 0,007 m<sup>3</sup>/detik. Unit sand filter dan Carbon filter ini terbuat dari material mild steel dan dilengkapi dengan 2 unit pompa sentrifugal



Gambar 4.8 Saringan Pasir dan Saringan Karbon

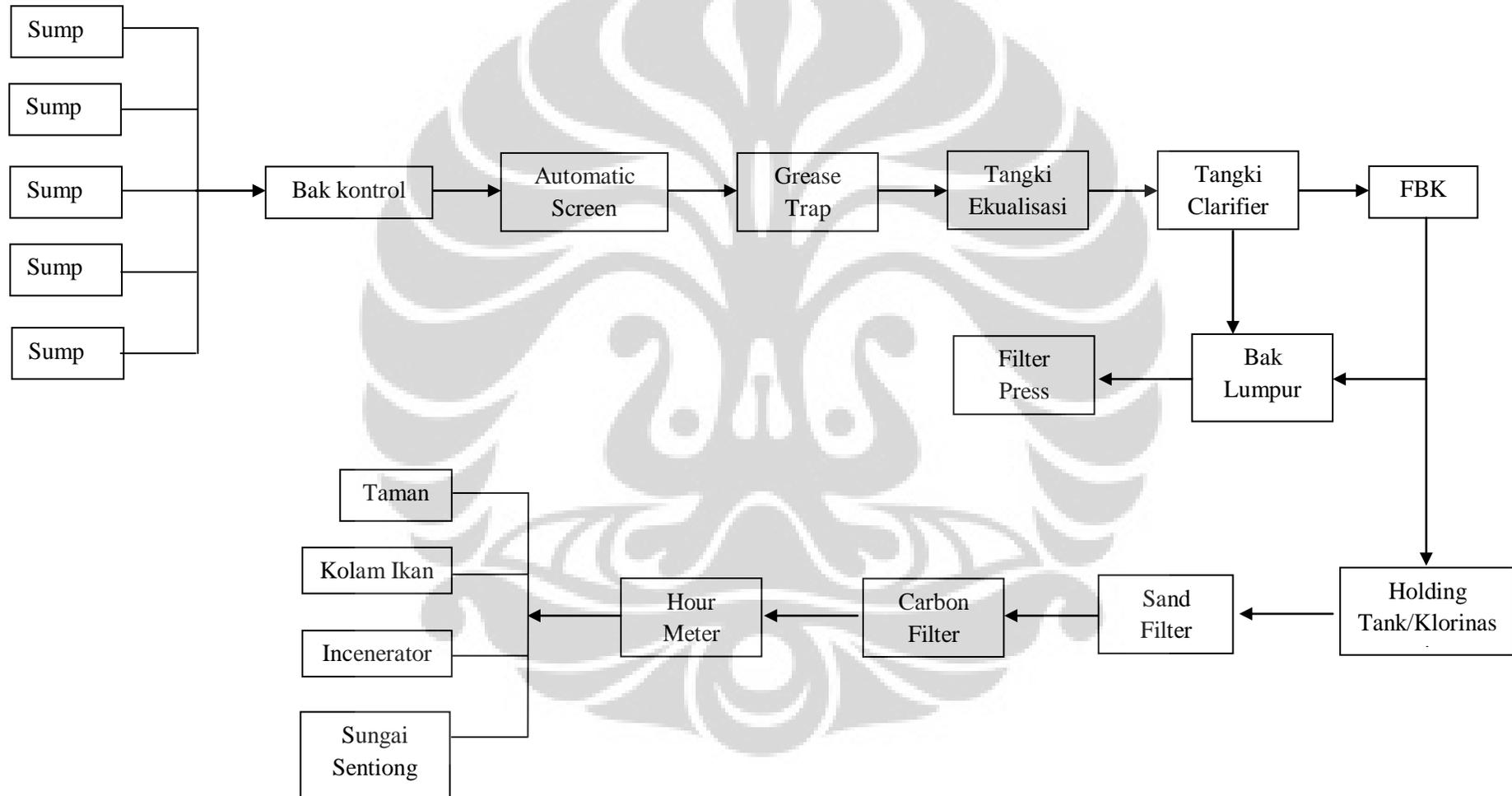
Sumber : Dokumentasi Penulis

Unit sand filter berfungsi untuk menyaring partikel-partikel yang tidak terlarut pada air limbah yang berasal dari sisa-sisa kotoran yang keluar dari clarifier atau FBK-Bioreaktor. Sedangkan sand filter berfungsi sebagai penyaring zat-satorganik yang tersisa di air limbah meliputi warna, bau dan juga menyerap sisa-sisa chlor bebas.

Sand filter dan Carbon filter dipasang secara seri dan untuk itu digunakan pompa sentrifugal yang dioperasikan secara otomatis menggunakan WLC dan dioperasikan pada tekanan normal 2bar dan tekanan maksimum 4 bar. Jika tekanan lebih dari 4 bar, maka secara otomatis klep pengaman akan terbuka.

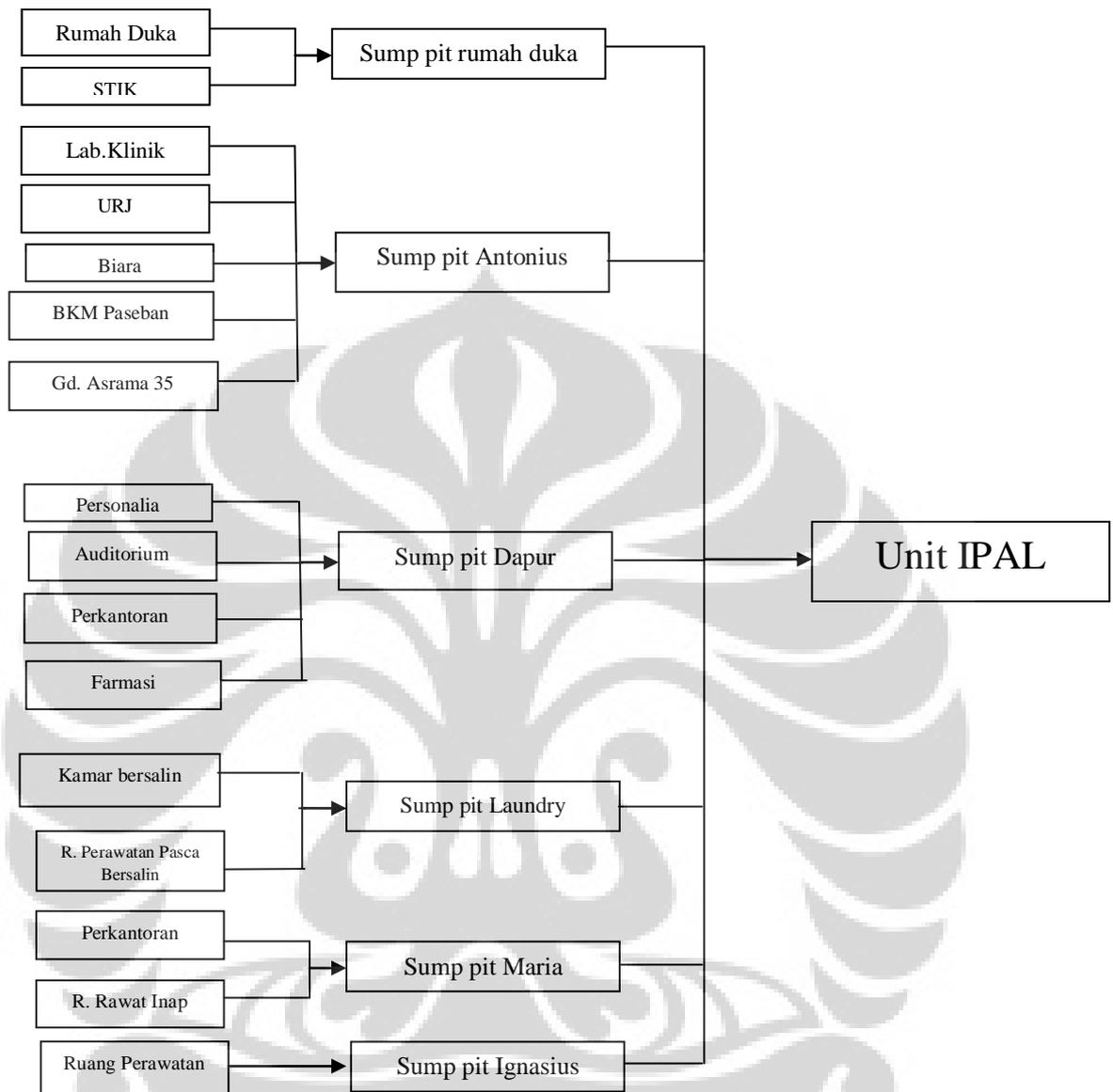
Air limbah hasil filtrasi dari unit Sand Filter dan Carbon Filter akan masuk ke kolam ikan. Pada kolam ini digunakan ikan mas sebagai indikator air limbah hasil pengolahan. Selain ke kolam ikan, air hasil pengolahan ini digunakan untuk menyiram tanaman serta untuk incenerator. Sisa dari air limbah hasil olahan ini akan dialirkan ke sungai Sentiong dengan kualitas yang telah aman untuk badan air.

### DIAGRAM ALIR PENGOLAHAN LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT ST. CAROLUS JAKARTA



Gambar 4.9 Diagram Alir Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit St. Carolus, Jakarta  
Sumber : RS St. Carolus Jakarta, 2010

Universitas Indonesia



Gambar4.10 Skema Aliran limbah sebelum masuk IPAL

Sumber : RS St. Carolus, 2010

## BAB V

### ANALISIS DAN EVALUASI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH

#### 5.1 Umum

Secara umum, sistem pengelolaan limbah cair Rumah Sakit St. Carolus cukup baik. Hal ini terlihat dari adanya septic tank pada setiap bangunan unit-unit kesehatan dan perawatan pasien yang dilengkapi dengan bak kontrol untuk mengolah air limbah terutama dari toilet sehingga proses anaerobic dapat terjadi untuk meminimalisasi parameter pencemar terutama COD dan BOD sebelum diolah di IPAL. Untuk limbah non WC seperti air cucian dari wastafel atau keran-keran pada setiap unit kesehatan langsung dialirkan menuju sump pit untuk selanjutnya dialirkan ke IPAL.

Dalam pelaksanaannya, limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan di rumah sakit ini tidak seluruhnya diolah di IPAL rumah sakit. Dari sumber-sumber tertentu, limbah cair hanya akan diberi treatment tertentu dan langsung di buang ke badan air. Untuk limbah yang akan diolah di IPAL, akan dikumpulkan di beberapa sump pit yang terletak di lima lokasi berbeda untuk kemudian di pompakan ke IPAL rumah sakit. IPAL rumah sakit ini menggunakan sistem biologis dengan memanfaatkan mikroorganisme berupa bakteri yang dibiakkan terpisah dan ditambahkan ke unit pengolahan bila diperlukan .

#### 5.2 Analisis Input IPAL Rumah Sakit Carolus

##### 5.2.1 Analisis Kapasitas IPAL dan Timbulan Limbah Cair berdasarkan Data Sekunder

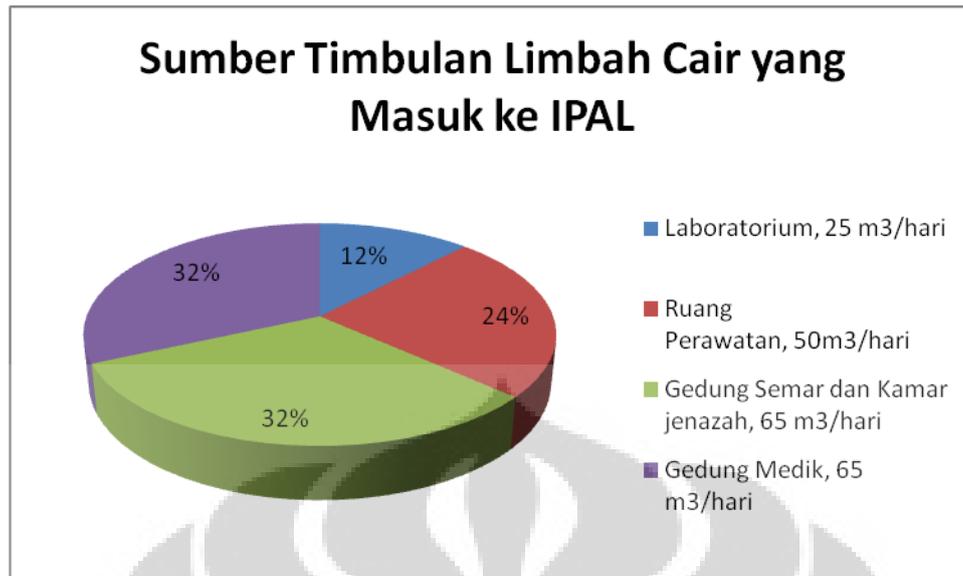
Pada dasarnya, terdapat beberapa cara yang biasa dilakukan untuk mengetahui debit air limbah yang masuk ke unit Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Pertama, dengan pengukuran secara manual. Pelaksanaan dari metode ini yaitu dengan menggunakan wadah/ember yang diketahui volumenya dan alat pengukur waktu (*stopwatch*). Akan tetapi, kondisi eksisting unit IPAL di Rumah Sakit St. Carolus tidak memungkinkan untuk dilakukan penghitungan debit secara

manual. Hal ini disebabkan karena konstruksi bangunan inlet IPAL yang berada di bawah tanah.

Karena tidak memungkinkannya pengukuran secara manual, maka penghitungan debit air limbah rumah sakit yang masuk ke unit IPAL adalah berdasarkan data sekunder yang ada pada pihak rumah sakit. Berdasarkan data sekunder yang diperoleh dari pihak Rumah Sakit St. Carolus, diketahui bahwa terdapat 6 sumber timbulan limbah cair rumah sakit, yaitu:

- Dapur, dengan kapasitas pembuangan sebanyak  $165 \text{ m}^3$  perhari dengan terlebih dahulu dialirkan melalui bak penangkap lemak dan selanjutnya dibuang ke sungai Bluntas.
- Laboratorium, dengan kapasitas pembuangan sebanyak  $25 \text{ m}^3$  per hari dialirkan ke tangki septik yang diberi rembesan
- Laundry, dengan kapasitas pembuangan sebanyak  $70 \text{ m}^3$  per hari yang dialirkan terlebih dahulu ke dalam bak pengendapan dan selanjutnya dibuang ke badan air sungai Bluntas
- Ruang perawatan, dengan kapasitas pembuangan sebanyak  $50 \text{ m}^3$  per hari dialirkan ke tangki septik yang diberi rembesan. Air rembesannya dipompa ke dalam IPAL.
- Gedung Semar dan Kamar Jenazah, dengan kapasitas pembuangan sebanyak  $65 \text{ m}^3$  per hari dialirkan ke tangki septik yang diberi rembesan
- Gedung Medik, dengan kapasitas pembuangan sebanyak  $65 \text{ m}^3$  per hari dialirkan ke tangki septik yang diberi rembesan.

Berdasarkan data tersebut, dapat diketahui bahwa limbah cair yang masuk ke unit IPAL rumah sakit adalah  $205 \text{ m}^3/\text{hari}$  atau setara dengan  **$8,54 \text{ m}^3/\text{jam}$** . Secara persentase adalah seperti pada grafik dibawah ini:



Gambar 5.1 Grafik Timbulan Limbah Cair yang Masuk ke IPAL

Sumber: Data Rumah Sakit St. Carolus, 2010

#### - Laboratorium

Berdasarkan grafik diatas, timbulan limbah cair yang berasal dari laboratorium adalah sebesar 25 m<sup>3</sup>/hari. Nilai ini cukup besar, karena limbah cair yang berasal dari laboratorium seluruhnya di olah pada unit IPAL.

Secara umum, kegiatan di laboratorium antara lain hematologi, kimia klinik, imunologi, mikrobiologi klinik, urinalisis dan analisis cairan tubuh lainnya yang menimbulkan limbah cair yang bersifat infeksius. Karena kandungan yang berbahaya ini, seharusnya terdapat pemisahan timbulan limbah cair medis dari kegiatan laboratorium dengan limbah cair dari kegiatan domestik. Limbah cair dari kegiatan laboratorium biasanya banyak mengandung senyawa logam berat, oleh karena itu, seharusnya air limbah ini dipisahkan dan diolah secara kimia fisika sebelum dicampur dengan limbah domestik dan masuk ke unit IPAL. Akan tetapi, tidak adanya pemisahan *treatment* untuk limbah kegiatan laboratorium dengan limbah domestik yang ditimbulkan mengakibatkan kedua limbah ini (limbah medis dan domestik) bercampur dan masuk ke unit IPAL.

#### - Ruang Perawatan

Ruang perawatan merupakan unit dengan timbulan limbah cair 50 m<sup>3</sup>/hari. Untuk kegiatan di rumah sakit St. Carolus, ruang perawatan yang dimaksud mencakup keseluruhan ruang rawat inap dan rawat jalan. yang terdapat

dikeseluruhan rumah sakit. Untuk ruang perawatan ini, air limbah yang ditimbulkan adalah limbah cair domestik yang berasal dari toilet dan wastafel yang terdapat pada setiap ruangan yang biasanya mengandung material organik, urea dan ammonia yang relatif tinggi.

- Gedung Semar dan Kamar Jenazah

Untuk gedung semar dan kamar jenazah, limbah cair yang ditimbulkan adalah 65 m<sup>3</sup>/hari yang keseluruhannya masuk ke unit IPAL rumah sakit. Pada gedung semar dan kamar jenazah ini timbulan limbah cair biasanya berasal dari ruang perawatan pasien yang terdapat pada unit ini, kegiatan memandikan jenazah, serta dari perkantoran yang terdapat pada gedung ini. Berdasarkan sumber limbahnya, maka limbah cair dari gedung ini mengandung material organik, urea dan ammonia dan tergolong limbah cair domestik.

- Gedung Medik

Gedung medik merupakan satu unit bangunan yang terdapat di rumah sakit St. Carolus dengan beberapa kegiatan, yaitu kamar bedah, ruang perawatan, perkantoran dan unit gawat darurat. Berdasarkan kegiatannya, selain limbah cair domestik, dari gedung ini juga akan ditimbulkan limbah cair medis. Akan tetapi, tidak adanya pemisahan antara limbah cair domestik dan medis dari kegiatan pada unit ini mengakibatkan beban pengolahan limbah cair yang masuk ke unit IPAL semakin tinggi.

### **5.2.2 Analisis Kapasitas IPAL dan Timbulan Limbah Cair berdasarkan Konsumsi Air Bersih**

Selain berdasarkan sumber penghasil limbahnya, debit limbah cair yang masuk ke unit IPAL ini bisa ditentukan berdasarkan Jumlah Tempat Tidur dan Tingkat Hunian (BOR). Metode ini merupakan metode yang paling umum digunakan dalam menghitung debit aliran limbah cair rumah sakit. Berdasarkan data dari pihak rumah sakit, diketahui bahwa tingkat hunian (BOR) rumah sakit adalah 60% dan jumlah tempat tidur 362 bed. Maka perhitungannya adalah sebagai berikut :

Asumsi kebutuhan air bersih tiap bed = 500 lt/bed/hari (Keputusan Menteri Kesehatan Nomor : 1204/MENKES/SK/2004).

$$\begin{aligned} \text{Penggunaan air bersih} &= 500 \text{ liter/hari/TT} \times 362 \text{ TT} \times 60\% \\ &= 108600 \text{ L/hari} \end{aligned}$$

Maka debit Air limbah (dengan asumsi bahwa debit air limbah 80% dari penggunaan air bersih)

$$\begin{aligned} &= 108600 \text{ L/hari} \times 80\% \\ &= 86880 \text{ L/hari} \\ &= 3620 \text{ L/jam} = \mathbf{3,62 \text{ m}^3/\text{jam}} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan debit limbah cair dengan konsumsi air bersih menggunakan BOR dan jumlah tempat tidur, terlihat bahwa debit limbah sangat kecil jika dibandingkan dengan data sekunder yang diperoleh dari pihak rumah sakit. Hal ini terjadi karena saat perhitungan debit timbulan limbah cair menggunakan BOR dan jumlah tempat tidur ini, konsumsi air bersih yang digunakan oleh karyawan dan pasien rawat jalan tidak diperhitungkan, sehingga debit yang diperoleh sangat kecil. Maka untuk perhitungan selanjutnya, debit limbah cair yang akan digunakan adalah debit maksimum berdasarkan data dari pihak rumah sakit. Karena angka  $8,54 \text{ m}^3/\text{jam}$  cukup aman untuk mewakili angka debit berdasarkan perhitungan BOR dan jumlah tempat tidur.

Berdasarkan debit timbulan limbah cair yang diperoleh dari pihak rumah sakit, diketahui bahwa timbulan limbah cair yang akan masuk ke unit IPAL adalah  $8,54 \text{ m}^3/\text{jam}$ . Hal ini masih lebih rendah jika dibandingkan dengan debit maksimum limbah cair yang dapat di tampung oleh unit IPAL, yaitu  $600 \text{ m}^3/\text{hari}$  atau setara dengan  $25 \text{ m}^3/\text{jam}$ . Maka  $Q_{\text{desain}} (25 \text{ m}^3/\text{jam}) > Q_{\text{lapangan}} (8,54 \text{ m}^3/\text{jam})$ . Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kapasitas IPAL yang tersedia masih mencukupi untuk mengolah timbulan limbah cair yang dihasilkan.

### 5.2.3 Analisis Karakteristik Input IPAL

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa limbah cair yang akan masuk ke unit IPAL adalah limbah cair yang berasal dari seluruh kegiatan rumah sakit, kecuali dari kegiatan dapur dan laundry. Limbah cair dari kegiatan dapur dan laundry ini tidak dimasukkan ke IPAL karena pada bagian dapur telah

disediakan unit penangkap minyak dan lemak, sedangkan pada laundry telah disediakan bak pengendapan, sehingga dari kedua kegiatan ini, air limbahnya langsung dialirkan ke sungai Bluntas.

Untuk kegiatan selain dapur dan laundry, limbah cair yang akan masuk ke unit IPAL adalah limbah cair yang berasal dari kegiatan rumah sakit, termasuk rembesan dari tangki septik. Keberadaan tangki septik pada dasarnya merupakan treatment awal bagi air limbah, sehingga pada beberapa parameter, terjadi penurunan kadar pencemar seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

Berikut ini adalah hasil pemeriksaan di laboratorium terkait dengan karakteristik kimiawi limbah cair yang masuk ke unit IPAL.

Tabel 5.1 Karakteristik Limbah Cair pada Inlet IPAL

<b>Parameter</b>	<b>Kandungan (mg/L)</b>
pH*	7
Zat padat tersuspensi (TSS)*	183,4
BOD <sub>5</sub> *	31,712
COD*	129,40
Fosfat*	10,5
Total Nitrogen*	67,6
Ammonia*	34
Nitrit*	0,04
Nitrat*	0,15
Organik Nitrogen*	33,6
Minyak Lemak**	0,52
MBAS**	0,41
Senyawa Organik (KMnO <sub>4</sub> )**	91,30

Sumber : Hasil Analisis Laboratorium, 2010

Ket: \* = Pemeriksaan Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan FTUI

\*\*= Pemeriksaan Lab Afiliasi Dep. Kimia, FMIPA UI

Berdasarkan tabel tersebut, dapat dilihat bahwa karakteristik air limbah pada inlet IPAL berada pada rentang sedang. Nilai pH 7 menunjukkan bahwa

suasana air limbah berada dalam kondisi netral dan ini akan mendukung untuk pengolahan selanjutnya. Kondisi terlalu asam atau terlalu basa akan mengganggu kinerja proses di IPAL, yaitu untuk keberlangsungan proses yang dibantu oleh mikroorganisme.

Untuk nilai BOD dan COD, dapat dilihat bahwa nilai yang ditunjukkan dari analisis laboratorium ini tidak terlalu tinggi untuk standar limbah cair rumah sakit. Untuk nilai TSS, angka 183,4 mg/L termasuk kedalam kategori sedang. Tidak terlalu tingginya nilai BOD dan TSS kemungkinan besar karena adanya reduksi nilai kedua parameter tersebut akibat keberadaan tangki septik. Untuk nilai karakteristik minyak lemak, terlihat bahwa angka yang ditunjukkan sangat kecil, hal ini karena limbah cair dari unit dapur yang biasanya mengandung minyak lemak dalam kadar tinggi tidak diolah di unit IPAL.

Secara teoritis, nilai Total Nitrogen, merupakan penjumlahan dari Amonium-N, Organik Nitrogen, Nitrat dan Nitrit. Jika dijumlahkan secara manual, maka nilai total nitrogen yang terkandung dalam limbah cair rumah sakit ini adalah sebesar 67,79 mg/L. Nilai ini sedikit lebih besar jika dibandingkan dengan nilai Total Nitrogen yang diperoleh dari analisis laboratorium yaitu 67,6 mg/L . Perbedaan angka ini terjadi akibat adanya kandungan nitrit dan nitrat dalam limbah cair di inlet IPAL. Seharusnya, untuk tipikal limbah cair domestik, kandungan nitrat dan nitritnya adalah 0 mg/L.

Untuk kadar fosfat dalam air limbah, nilainya juga berada pada kadar sedang. Kandungan fosfat , selain berasal dari penggunaan detergent dan sabun, juga bersumber dari urine dan kotoran manusia. Karena limbah cair yang ditimbulkan dari kegiatan laundry tidak masuk ke unit IPAL, maka diperkirakan bahwa kadar fosfat yang terkandung dalam limbah cair ini adalah yang berasal dari urine, kotoran manusia, serta penggunaan sabun atau detergent oleh pasien, keluarga pasien atau oleh pihak pengelola rumah sakit.

### **5.3 Analisis Proses IPAL**

Pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Carolus, proses pengolahan diawali dengan bak penangkap lemak, dimana lemak, sisa-sisa lemak dan benda-benda yang mengapung dibersihkan pada unit ini. Selanjutnya, air limbah akan masuk ke unit ekualisasi melalui sebuah pipa yang bagian atasnya

dilengkapi dengan saringan agar limbah cair yang masuk ke unit ekualisasi tidak bercampur dengan sampah atau material lain yang akan mengganggu kinerja proses di IPAL. Pada unit ekualisasi, debit limbah akan disamakan untuk menghindari terjadinya fluktuasi debit ke unit selanjutnya. Pada unit ekualisasi ini, selain terjadi pengaturan debit limbah sebelum masuk ke unit selanjutnya, juga terjadi pengadukan (agitasi) dan aerasi (penambahan oksigen).

Setelah pengadukan dan penambahan kadar oksigen di bak ekualisasi ini, limbah cair akan dipompakan ke bak clarifier (bak sedimentasi). Dari Bak sedimentasi, limbah cair akan dialirkan ke unit FBK-Bioreaktor. Setelah di treatment pada unit ini, air limbah akan masuk ke unit disinfeksi, lalu unit filtrasi dan terakhir di buang ke badan air, dalam hal ini Sungai Sentiong. Pada saat penelitian ini dilaksanakan, seluruh unit pada IPAL dalam keadaan berfungsi dengan baik.

### 5.3.1. Bak Clarifier (Bak Sedimentasi)

Bak Sedimentasi ini merupakan unit pengolahan pertama yang dilalui oleh limbah cair yang sudah diseimbangkan debitnya dari unit ekualisasi. Bagian bawah bak sedimentasi ini berbentuk kerucut yang berfungsi mengumpulkan lumpur yang telah diendapkan pada unit ini. Lumpur tersebut akan dialirkan setiap harinya ke sludge collector, dan di sludge collector, lumpur akan diolah menggunakan filter press.

Bak clarifier ini terdiri dari tiga kompartemen yang dibatasi oleh dinding/sekat yang tidak menyentuh bagian dasar unit clarifier. Selain itu, pada unit clarifier ini, terdapat *plate settler* yang berfungsi untuk mengotimalkan proses yang terjadi pada unit clarifier.

Berikut ini adalah tabel hasil analisis karakteristik air limbah yang masuk ke unit clarifier:

Tabel 5.2. Analisis Karakteristik Limbah Cair pada Unit Clarifier

Unit	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	TSS (mg/L)
Inlet Clarifier	27,45	91,0
Outlet Clarifier	17,23	40,04

Sumber: Hasil Analisis Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan, FTUI, 2010

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa pada unit clarifier ini terjadi penurunan kadar pencemar BOD dan TSS dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\% \text{ BOD Removal} = \frac{BOD_{in} - BOD_{out}}{BOD_{in}} \times 100\%$$

$$\% \text{ TSS Removal} = \frac{TSS_{in} - TSS_{out}}{TSS_{in}} \times 100\%$$

sehingga, didapat bahwa:

$$\% \text{ BOD Removal} = \frac{27,45 - 17,23}{27,45} \times 100\% = 37,23\%$$

$$\% \text{ TSS Removal} = \frac{91,0 - 40,04}{91,0} \times 100\% = 56\%$$

Berdasarkan perhitungan efisiensi unit clarifier ini, diketahui bahwa unit ini berhasil mengurangi kandungan BOD air limbah sebesar 37,23% dan TSS sebesar 56%. Angka ini menunjukkan bahwa pada tangki clarifier ini, proses yang terjadi cukup optimal. Lumpur yang terbentuk sebagai endapan dari proses yang terjadi pada tangki clarifier ini akan dialirkan setiap hari ke *sludge collector*.

Selanjutnya akan dihitung produksi lumpur dari unit clarifier ini dengan removal rate dari produksi lumpur adalah 63% (Syed R. Qasim). Berikut ini adalah cara perhitungan yang digunakan:

- Jumlah produksi lumpur perhari = Nilai TSS Influent ( $\text{g/m}^3$ ) x Removal Rate Lumpur x (debit rata-rata limbah ( $\text{m}^3/\text{s}$ )) x 86.400 s/d x kg/1000g [ Syed. R Qasim]

Jumlah Produksi lumpur perhari

$$= 91 \text{ g/m}^3 \times 0,63 \times 0,00694 \text{ m}^3/\text{s} \times 86.400 \times \text{kg}/1000\text{g}$$

$$= 34,398 \text{ kg/day}$$

Dari perhitungan tersebut, dapat diketahui bahwa produksi lumpur dari unit clarifeir ini adalah 34,398 kg setiap harinya.

Setelah jumlah produksi lumpur per harinya diketahui, maka akan dilakukan penghitungan kapasitas pompa yang dibutuhkan untuk memompakan lumpur yang terbentuk ke unit *sludge collector*.

- Produksi lumpur unit clarifier setiap menit

Untuk menghitung produksi lumpur permenit di unit clarifier ini, maka akan digunakan asumsi bahwa specific gravity dari lumpur adalah 1,03, dan lumpur mengandung 4,5% solid

Produksi lumpur unit clarifier setiap menit

$$= \frac{34,398 \text{ kg / hari}}{1,03 \times \frac{1 \text{ g}}{\text{cm}^3} \times \frac{1}{1000 \text{ g / kg}} \times 0,045 \times (100 \text{ cm})^3 / \text{m}^3 \times 1440 \text{ min / day}}$$

$$= 0,000515 \text{ m}^3/\text{menit}$$

- Menghitung kapasitas pompa

$$= \frac{0,000515 \text{ m}^3 / \text{menit} \times 18 \text{ menit / siklus}}{1,5 \text{ menit pompa / siklus}}$$

$$= 0,006184 \text{ m}^3/\text{menit}$$

Seluruh lumpur ini akan dialirkan ke *sludge collector* untuk selanjutnya diolah menggunakan filter press.

### 5.3.2 FBK-Bioreaktor

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, unit FBK-Bioreaktor ini adalah semacam unit aerasi dalam sistem pengolahan limbah di IPAL Rumah Sakit Carolus, karena pada unit ini diberikan suplai oksigen kepada air limbah yang masuk melalui *nozzle* yang terdapat dipermukaan unit ini, juga aerator mekanik (blower) yang terdapat pada dasar bak FBK-Bioreaktor ini.

Pada unit FBK-Bioreaktor ini, tidak terjadi return sludge, karena mikroorganisme yang digunakan untuk pengolahan limbah cair pada unit ini dibiakkan terpisah. Bakteri yang digunakan adalah jenis NOGGIE-20, dimana pembiakannya dilakukan pada pH 5-9, suhu 8-40<sup>0</sup>C dengan suhu optimum 30<sup>0</sup>C. Sebagai Nutrient dari bakteri ini, pada bagian akhir unit clarifier, sebelum masuk ke unit FBK-Bioreaktor ini, ditambahkan Urea dan TSP dengan Kadar tertentu untuk memenuhi kebutuhan nutrisi bakteri.

Pada dasarnya, kebutuhan nutrisi dari bakteri ini seharusnya didasarkan pada perbandingan BOD:N:P dimana suasana yang paling tepat untuk mikroorganisme agar dapat berkembang dengan baik adalah pada rasio 100 : 5 : 1. Artinya, apabila nutrisi yang terdapat dalam air limbah kurang dari yang seharusnya, maka mikroorganisme yang terdapat dalam limbah cair akan saling makan, sehingga lama kelamaan jumlah mereka akan berkurang dan habis. Demikian pula sebaliknya, jika nutrisi yang terdapat dalam air limbah terlalu jenuh, maka kondisi ini juga tidak akan mendukung bagi kinerja bakteri dalam menguraikan limbah.

Berikut adalah tabel hasil analisis laboratorium tentang karakteristik air limbah yang terdapat pada unit FBK-Bioreaktor.

Tabel. 5.3 Hasil Analisis Pada Unit FBK-Bioreaktor

Unit	TSS	N-Total	P	BOD <sub>5</sub>
Inlet FBK-Bioreaktor	40,04	2,75	1,66	17,23
Outlet FBK-Bioreaktor	17,16	1,03	0,63	9,45

Sumber: Hasil Analisis Laboratorium Teknik Kesehatan dan Lingkungan, FTUI, 2010

Pada unit ini, kualitas input merupakan output dari proses yang terjadi pada tangki clarifier. Berdasarkan analisis laboratorium, dapat dilihat bahwa pada unit ini, terjadi penurunan angka BOD<sub>5</sub> dan TSS sebesar masing-masing 45,15% dan 57,14% dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\% \text{ BOD Removal} = \frac{BOD_{in} - BOD_{out}}{BOD_{in}} \times 100\%$$

$$\% \text{ TSS Removal} = \frac{TSS_{in} - TSS_{out}}{TSS_{in}} \times 100\%$$

sehingga, didapat bahwa:

$$\% \text{ BOD Removal} = \frac{17,23 - 9,45}{17,23} \times 100\% = 45,15\%$$

$$\% \text{ TSS Removal} = \frac{40,04 - 17,16}{40,04} \times 100\% = 57,14\%$$

Dari angka penyisihan BOD dan TSS dari bak FBK-Bioreaktor tersebut dapat dilihat bahwa unit ini berjalan dengan baik.

Selanjutnya akan dianalisis perbandingan BOD : N : P ratio yang akan berpengaruh pada kinerja mikroorganisme yang terdapat pada unit FBK-Bioreaktor ini. Dari analisis laboratorium, nilai BOD : N : P nya adalah 17,23 : 2,75 : 1,66 atau setara dengan 100:16:10. Nilai ini jelas tidak sesuai dengan perbandingan yang seharusnya yaitu 100 : 5: 1. Dari nilai ini terlihat bahwa kandungan Nitrogen dan Phospor yang terdapat pada air limbah di unit ini terlalu tinggi.

- Nitrogen (N)

Secara teoritis, kandungan nitrogen dalam limbah cair domestik merupakan hasil dekomposisi biologis dari protein dan urea yang terdapat dalam air limbah. Kandungan nitrogen ini biasanya terdiri dari organik nitrogen dan ammonia. Pengolahan biologis dengan proses aerob dan waktu pengolahan yang cukup akan mengubah kandungan nitrogen ini menjadi nitrat. Sedangkan waktu kontak pada *secondary treatment* akan mengubah organik nitrogen menjadi ammonia. Hal ini terjadi karena ketersediaan oksigen yang cukup dan faktor lingkungan yang mendukung akan menurunkan kadar ammonia pada limbah cair. Proses yang biasanya efektif untuk menurunkan kadar ammonia dalam air limbah adalah dengan peningkatan waktu tinggal pada unit clarifier dan mengoptimalkan kandungan oksigen dalam air limbah melalui efektifitas proses aerasi.

- Phosfat (P)

Dalam sistem limbah cair, kandungan phosfat biasanya berasal dari penggunaan detergent dan sabun serta dari urine dan kotoran manusia. Kandungan phosfat dalam air dapat berbentuk 3 senyawa, yaitu orthophosfor, polyphosfat, dan fosfor organik. Pada sebagian besar sistem pengolahan air limbah, 10% dari kandungan phosfat dipisahkan pada unit *primary sedimentation*. Untuk air limbah dengan kandungan phosfat tinggi, biasanya ditambahkan bahan kimia seperti

kapur, tawas, ferri chlorida atau sulfat sebagai koagulan yang akan mengendapkan kandungan pencemar ini pada unit clarifier.

Pada IPAL rumah sakit St. Carolus ini, kandungan nitrogen dan fosfat pada air limbah tidak hanya dari air limbah yang sedang diolah, akan tetapi juga dari penambahan urea dan TSP pada zona outlet unit clarifier. Tingginya kandungan nitrogen dan fosfat pada air limbah yang diolah dan ditambah lagi dengan penambahan urea dan TSP sebagai nutrisi bagi mikroorganisme mengakibatkan kandungan nitrogen dan fosfat pada unit FBK-Bioreaktor ini terlalu tinggi.

Kondisi eksisting di lapangan adalah penambahan urea dan TSP secara kontinu mengikuti operasi unit aerator dan agitator pada unit ekualisasi. Pada unit ekualisasi, aerator dan agitator diatur hidup 3 jam dan mati 15 menit, ini artinya selama aerator dan agitator menyala, maka urea dan TSP ditambahkan terus-menerus ke zona outlet unit clarifier sebelum masuk ke FBK-Bioreaktor.. Berdasarkan hasil analisis laboratorium tersebut, dapat dilihat bahwa penambahan urea dan TSP secara terus-menerus mengakibatkan nutrisi yang tersedia pada unit FBK-Bioreaktor ini terlalu tinggi. Hal ini kurang baik bagi kinerja unit ini, karena mikroorganisme hanya akan memakan nutrisi sesuai dengan kebutuhannya, sedangkan sisa nutrisi yang tidak dimanfaatkan oleh mikroorganisme akan menjadi lumpur. Jika kelebihan nutrisi ini terlalu tinggi, maka lumpur yang akan dihasilkan akan lebih banyak, dan ini akan menambah beban lumpur yang akan dialirkan ke *sludge collector*. Oleh karena itu diperlukan pengaturan yang tepat dalam penambahan urea dan TSP di zona outlet unit clarifier.

Dalam sistem pengolahan limbah, kandungan nitrogen dan fosfat yang terdapat dia air limbah juga akan direduksi pada pengolahan tersier di unit disinfeksi dan filtrasi. Jadi, treatment yang tepat pada unit disinfeksi dan filtrasi akan menurunkan kadar nitrogen dan fosfat dalam air limbah, sehingga saat dibuang ke badan air, kandungan kedua senyawa ini tidak akan mengganggu kestabilan badan air penerima.

Berbeda dengan unit aerasi yang terdapat pada sistem *activated sludge*, pada sistem bioreaktor ini tidak terjadi *return sludge*. Keseluruhan lumpur yang diproduksi dari unit ini akan dialirkan ke *sludge collector*.

### 5.3.3 Klorinasi (Disinfeksi) dan Unit Filtrasi

Setelah air limbah diolah secara biologis di unit FBK-Bioreaktor, air limbah akan dialirkan ke unit klorinasi. Pada unit ini, terjadi penambahan kaporit sebagai disinfektan air limbah. Seperti yang telah dijelaskan pada gambaran umum unit pengolahan pada IPAL ini, bahwa pada unit klorinasi ini terdapat 1 unit dosing pump yang berfungsi mengatur kadar kaporit yang akan digunakan.

Pada unit klorinasi ini, disinfektan berupa kaporit diinjeksikan secara otomatis sebanyak 0,5l/jam atau setara dengan 0,14 ml/detik. Saat penelitian ini dilaksanakan, unit disinfeksi ini berjalan dengan baik. Hal ini ditandai dengan kualitas effluent air limbah pada outlet IPAL yang sudah sesuai dengan baku mutu, walaupun pada outlet tidak pernah dilakukan pengukuran kadar klor (Cl) yang terdapat pada outlet IPAL. Pengukuran kadar klor pada outlet ini tidak pernah dilakukan karena indikator Klor bukanlah merupakan salah satu parameter yang harus diukur mengingat air hasil olahan ini tidak akan digunakan sebagai sumber air baku.

Setelah air limbah ditreatment di unit disinfeksi ini, maka air limbah akan masuk ke unit filtrasi. Unit filtrasi ini terdiri dari 4 tangki, yaitu dua tangki saringan pasir (*sand filter*) dan dua tangki saringan karbon (*carbon filter*). Unit *sand filter* berfungsi sebagai penyaring partikel yang tidak terlarut pada air limbah yang bersal dari unit clarifier atau pun FBK-Bioreaktor. Sedangkan unit *carbon filter* berfungsi sebagai penyaring zat organik yang tersisa pada air limbah, seperti bau, warna dan menyerap sisa klor bebas yang masih terkandung pada air limbah.

## 5.4 Analisis Outlet IPAL

Air limbah yang telah mengalami pengolahan pada unit-unit proses yang terdapat dalam IPAL, air limbah akan dialirkan ke badan air dalam hal ini sungai sentiong yang merupakan tempat pembuangan air hasil olahan. Pada bagian outlet IPAL terdapat *hour meter* yang berfungsi mengatur pembuangan air hasil olahan

ini. Air hasil olahan ini tidak seluruhnya dibuang ke badan air, walaupun persentase terbesar adalah yang dibuang ke badan air. Sebagian dari air olahan ini dimanfaatkan untuk menyiram tanaman, pengoperasian incenerator dan mengisi kolam ikan yang digunakan sebagai indikator biologis hasil pengolahan air limbah.

Dalam sistem pengolahan air limbah, parameter pada outlet merupakan hal yang paling penting untuk dinalisis. Selain karena hal ini merupakan salah satu ketentuan pembuangan air limbah hasil olahan, hal ini juga karena kualitas air olahan pada outlet akan sangat mempengaruhi kondisi badan air penerima.

Berdasarkan hasil analisis laboratorium, kualitas effluent IPAL rumah sakit St. Carolus adalah seperti yang terdapat pada tabel berikut:

Tabel 5.4 Hasil Pemeriksaan Parameter Air Limbah Pada Outlet IPAL

<b>Parameter</b>	<b>Kandungan (mg/L)</b>	<b>BML ( PerGub DKI 122/2005) (mg/L)</b>
pH*	7	6-9
Zat padat tersuspensi (TSS)*	8,4	50
BOD <sub>5</sub> *	7,72	50
COD*	34,26	80
Minyak Lemak**	0,43	10
Zat Organik (KMnO <sub>4</sub> )**	29,52	85
Senyawa aktif biru metilen**	0,19	2
Ammonia*	0,71	10

Sumber : Hasil Analisis Laboratorium

Ket: \* = Pemeriksaan Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan FTUI

\*\*= Pemeriksaan Lab Afiliasi Dep. Kimia, FMIPA UI

Berdasarkan data hasil analisis laboratorium, dapat dilihat bahwa keseluruhan parameter yang diukur pada outlet IPAL berada dibawah baku mutu lingkungan yang ditetapkan oleh Peraturan Gubernur DKI Jakarta No 122 Tahun 2005. Sedangkan efisiensi instalasi pengolahan limbah cair Rumah Sakit St. Carolus dapat dihitung berdasarkan perbandingan kualitas influen dan efluen IPAL.

Tabel 5.5 Perbandingan Kualitas Influent dan Effluent Limbah Cair pada IPAL  
Rumah Sakit St. Carolus

Parameter	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Efisiensi
pH	7	7	-
Zat Padat Tersuspensi (TSS)	183,4	8,4	Efisiensi $= \frac{183,4 - 8,4}{183,4} \times 100\% = 95,42\%$
BOD <sub>5</sub>	31,712	7,72	Efisiensi $= \frac{31,712 - 7,72}{31,712} \times 100\% = 75,66\%$
COD	129,40	34,26	Efisiensi $= \frac{129,40 - 34,26}{129,40} \times 100\% = 73,52\%$
Minyak Lemak	0,52	0,43	Efisiensi $= \frac{0,52 - 0,43}{0,52} \times 100\% = 17,30\%$
Zat Organik (KMnO <sub>4</sub> )	74,6	29,52	Efisiensi $= \frac{74,6 - 29,52}{74,6} \times 100\% = 60,43\%$
Senyawa Aktif Biru Metilen	0,6	0,19	Efisiensi $= \frac{0,6 - 0,19}{0,6} \times 100\% = 68,33\%$
Ammonia	34	0,71	Efisiensi $= \frac{34 - 0,71}{34} \times 100\% = 98\%$

Sumber : Data Hasil Olahan, 2010

Dilihat dari nilai efisiensi pada tabel diatas maka bisa dikatakan proses pengolahan air limbah berjalan dengan cukup baik. Akan tetapi proses pengolahan secara biologis dinilai masih belum optimal karena efisiensi penurunan kadar BOD dan COD masih belum mencapai angka 80%.

Kurang optimalnya pengolahan pada unit pengolahan biologis dapat terjadi karena beberapa hal, misalnya pengerukan lumpur pada unit pengolahan biologis yang tidak dilakukan secara berkala. Hal ini akan mengganggu proses yang terjadi pada unit pengolahan biologis, karena penumpukan lumpur pada unit pengolahan biologis ini akan meningkatkan kebutuhan oksigen air limbah, karena

lumpur yang terdapat pada unit ini akan menggunakan oksigen untuk metabolisme lumpur tersebut.

Oleh karena itu, perlu adanya pengerukan lumpur secara berkala pada unit pengolahan biologis, agar proses pengolahan yang dilakukan dengan bantuan mikroorganisme ini dapat berjalan baik.

## **5.5 Analisa Dimensi Unit-Unit pada IPAL Rumah Sakit St. Carolus**

### **a. Unit Pengolahan Pendahuluan (*Pre treatment*)**

Unit pengolahan ini terdiri dari unit *Grease Trap* dan stabilisator. Unit grease trap adalah bangunan bak yang berfungsi untuk memisahkan lemak-minyak, air dan endapan lumpur yang berasal dari kegiatan rumah sakit. Pemisahan dilakukan dengan memanfaatkan perbedaan berat jenis lemak-minyak, air dan endapan lumpur melalui pengaturan pipa outlet di bak grease trap. Minyak-lemak akan mengapung ke atas, air pada bagian tengah dan lumpur pada bagian bawah bak

Pada bagian akhir dari bak ini, terdapat *screen* yang merupakan penyaring sebelum air limbah masuk ke unit equalisasi. Screen ini berbentuk seperti tabung (pipa) yang terhubung langsung dengan pipa yang akan mengalirkan air limbah ke unit equalisasi. Dengan demikian, air yang masuk ke unit equalisasi sudah tidak mengandung sampah berukuran besar yang akan mengganggu kinerja unit equalisasi dan unit-unit selanjutnya.

Untuk bak unit ini, juga dilakukan pengerukan lumpur secara berkala. Sedangkan untuk pembersihan *screen*, biasanya dilakukan secara manual dengan menggunakan alat seperti jala yang diberi tangkai, atau dengan pencucian berkala. Hal ini penting untuk dilakukan agar unit ini dapat berfungsi sesuai dengan yang seharusnya.

### **b. Ekualisasi**

Bak ekualisasi pada IPAL Rumah Sakit St. Carolus, merupakan bagian dari proses pengolahan limbah cair. Sebelum masuk ke unit selanjutnya, limbah cair masuk terlebih dahulu dalam bak ekualisasi dan akan dipompakan ke unit

berikutnya dengan debit tertentu. Pada IPAL rumah sakit St. Carolus ini, debit air limbah yang keluar dari unit ekualisasi adalah  $25\text{m}^3/\text{jam}$ .

Bak ekualisasi hanya terdiri dari 1 kompartemen yang dilengkapi 2 jet aerator, WLC dan Submersible pump. Pada saat pembersihan bak, aliran air limbah akan langsung dipompakan ke unit clarifier tanpa melewati unit ekualisasi. Untuk menghindari fluktuasi yang berlebih pada saat ekualisasi tidak berfungsi, maka pembersihan bak ekualisasi ini biasanya dilakukan pada hari Minggu, yaitu saat dimana debit air limbah relatif lebih sedikit dibandingkan dengan hari lain. Akan tetapi hal ini tidak terlalu signifikan karena pembersihan bak ekualisasi dilakukan satu kali dalam setahun.

$$\text{Volume bak} = 5\text{m} \times 6\text{m} \times 4,7\text{m} = 141 \text{ m}^3$$

Cek waktu tinggal dalam bak:

$$t_d = V/Q = [141 \text{ m}^3 / 205 \text{ m}^3/\text{hari}] \times 24 \text{ jam/hari} = 16,5 \text{ jam} > 2\text{jam} \dots \dots \dots \text{tidak sesuai}$$

Cek kedalaman bak:

$$H \text{ bak ekualisasi} = 4,7 \text{ m} > 2\text{m} \dots \dots \text{Tidak sesuai kriteria}$$

Dari hasil analisa perhitungan diketahui bahwa waktu tinggal bak terlalu lama sehingga dapat menyebabkan terjadinya pengendapan kotoran di bak ekualisasi ini. Solusi yang dapat diberikan adalah dengan memperkecil kedalaman bak atau menambahkan alat pengaduk seperti aerator sehingga pengendapan kotoran tidak terjadi. Selain itu, jumlah bak ekualisasi yang hanya terdiri dari 1 kompartemen akan menyulitkan saat dilakukan pembersihan unit ekualisasi ini. Waktu tinggal optimal diperoleh saat volume unit ekualisasi ini  $17,08333 \text{ m}^3$ . Maka dengan kedalaman optimal 2 m, perbandingan panjang dan lebar 1:1, maka akan diperoleh dimensi optimal unit ekualisasi dengan dua kompartemen adalah  $3 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ .

### c. **Tangki Clarifier (Bak Sedimentasi)**

Air limbah dari bak ekualisasi dipompakan ke bak clarifier dengan debit  $25 \text{ m}^3/\text{jam}$ . Bak clarifier ini berbentuk persegi panjang dengan bagian bawah memiliki tempat penampung lumpur.

$$\text{Volume bak clarifier} = 6\text{m} \times 3\text{m} \times 3\text{m} = 54 \text{ m}^3$$

Cek waktu tinggal dalam tangki clarifier:

$$(Q = 25 \text{ m}^3/\text{jam} = 0,42 \text{ m}^3/\text{menit})$$

$$td = V/Q = 54 \text{ m}^3/(25\text{m}^3/\text{jam}) = 2,16 \text{ jam...Sesuai kriteria desain (2-2,5 jam)}$$

Cek beban permukaan:

$$V_o = Q/\text{Across} = (25 \text{ m}^3/\text{jam})/(6 \times 3)\text{m}^2 = 1,39 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{jam} = 33,33 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{hari} < 50 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{hari} \dots \text{Ok}$$

Sedangkan karakteristik aliran bak sedimentasi dapat diperkirakan dengan bilangan *Reynolds* (Re) dan bilangan *Froude* (Fr).

$$Re = \frac{V_o R}{\nu} < 500$$

$$Fr = \frac{V_o^2}{gR} > 10^5$$

$$\text{dimana : } R = \text{radius hidrolis, m } (R = \frac{A}{P}) = \frac{18\text{m}^2}{18\text{m}} = 1 \text{ m}$$

$$V_o = 1,39 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{jam} = 3,86 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ detik}$$

A= luas area yang dilewati, m<sup>2</sup>

P = keliling basah, m

$\nu$  = viskositas kinematis, m<sup>2</sup>/s = 0,893.10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s pada 25 oC

g = konstanta gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

Nilai bilangan *Reynolds* (Re) bak clarifier adalah:

$$Re = \frac{3,86 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{det} \times 1 \text{ m}}{0,839 \cdot 10^{-6}} < 500$$

$$= 460,0715 < 500 \dots \text{Ok}$$

Nilai *Froude Number* bak clarifier adalah:

$$Fr = \frac{(3,86 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{det})^2}{9,81 \text{ m} / \text{s}^2 \times 1 \text{ m}} > 10^{-5}$$

$$= 3,93476 \times 10^{-5} > 10^{-5} \dots \text{Ok}$$

Berdasarkan perhitungan waktu tinggal sudah sesuai dengan kriteria desain, karena waktu tinggal pada unit clarifier ini adalah 2,16 jam, sedangkan berdasarkan kriteria desain, waktu tinggal optimal untuk unit clarifier adalah 2-2,5 jam. Untuk beban permukaan dan karakteristik aliran sudah optimal, artinya aliran permukaan yang terjadi sudah cukup uniform sehingga pengendapan pun dapat berjalan optimal, hal ini ditandai dengan *Reynold Number* dan *Froude Number* yang sesuai dengan kriteria desain

**d. Unit FBK-Bioreaktor (Unit Aerasi)**

Setelah air limbah diolah pada unit clarifier, maka selanjutnya akan dialirkan ke unit FBK-Bioreaktor. Unit ini memiliki dimensi 8,4 m x 2,65 m x 2,8 dengan kapasitas 50 m<sup>3</sup>. Selanjutnya akan dilakukan evaluasi dimensi unit FBK-Bioreaktor berdasarkan kriteria desain yang terdapat pada tabel dibawah ini:

Tabel 5.6 Kriteria Desain Bioreaktor

Kriteria Desain	Dimensi
Tinggi (kedalaman reaktor)	1,8 – 9,1 m
Lebar Tangki	1,5 – 2 kali tinggi tangki
Panjang tangki	5 kali lebar tangki

Sumber : Reynold dan Richard, 1996

Tinggi tangki bioreaktor pada unit FBK-Bioreaktor yang terdapat di IPAL rumah sakit ini adalah 2,8 m. Nilai ini sudah sesuai dengan rentang yang terdapat dalam kriteria desain. Untuk tinggi unit bioreaktor 2,8 meter, maka lebar tangki optimal seharusnya 4,2 meter dengan panjang 22 meter. Akan tetapi nilai ini terlalu besar, atau dengan kata lain tidak sesuai dengan ketersediaan lahan. Maka lebar minimal tangki ini sesuai dengan kriteria desain adalah 1,5 kali dari kedalaman minimal yaitu 2,7 m. Jika dilihat dari kondisi eksisting di IPAL rumah sakit ini, maka lebar tangkai 2,65 m, nilai ini sedikit lebih kecil dari kriteria desain. Untuk panjang unit bioreaktor, berdasarkan kriteria desain, nilai minimalnya adalah 13,5 m. Untuk kondisi eksisting pada IPAL rumah sakit, panjang unitnya adalah 8,4 m Nilai ini masih jauh lebih kecil dari kriteria desain yang ada. Atau secara lebih sederhana seperti pada tabel berikut:

Tabel 5.7 Perbandingan Kriteria Desain dengan Kondisi Eksisting di Lapangan

Unit	Kriteria Desain (m)	Kondisi di Lapangan (m)	Keterangan
Tinggi	1,8 - 9,1	2,8	Ok
Lebar	2,7 - 16,38	2,65	< kriteria desain
Panjang	13,5 – 81,9	8,4	<< kriteria desain

Sumber: Reynold dan Richard, 1996 serta Data Lapangan

Ketepatan dimensi unit ini menjadi penting karena akan berpengaruh pada efektivitas penyisihan kadar pencemar. Jika nilai maksimal panjang bak yang dapat dibangun sesuai dengan ketersediaan lahan adalah 8,4 m, maka lebarnya adalah 1,68 m dan tinggi bak 1,12 meter.

#### e. **Tangki Penampung dan Disinfeksi**

Tangki penampung berfungsi sebagai penampung air limbah yang telah diolah dari unit pengolahan biologis sebelumnya.

$$\text{Volume tangki penampung} = 1,5\text{m} \times 1,5\text{ m} \times 1,5\text{ m} = 4,5\text{ m}^3$$

Cek waktu kontak

$$= \frac{\text{VolumeTangki}}{Q} = \frac{4,5\text{m}^3}{25\text{m}^3 / \text{jam}} = 0,18\text{jam} = 10,8\text{ menit}$$

Nilai waktu kontak ini jauh lebih kecil dari kriteria desain yang dianjurkan yaitu dalam rentang 20-30 menit (*Syed R. Qasim*). Untuk itu, perlu penambahan waktu tinggal, bisa dilakukan dengan memperkecil debit yang masuk atau menambah volume tangki. Untuk volume tangki 4,5 m, maka debit maksimum agar waktu tinggal sesuai kriteria desain adalah 13,5 m<sup>3</sup>/jam. Atau jika tidak dapat dilakukan penurunan debit, maka untuk debit 25 m<sup>3</sup>/jam, volume tangki seharusnya adalah 8,333 m<sup>3</sup>.

Di samping tangki penampung, juga terdapat pompa untuk dosing desinfektan untuk proses disinfeksi. Proses disinfeksi dilakukan dengan menginjeksikan kaporit dengan dengan dengan konsentrasi 6,25 %.

### **5.6 Analisis Data Inlet dan Outlet Instalasi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit St. Carolus**

Berdasarkan data sekunder dari pihak pengelola IPAL rumah sakit Carolus Jakarta, pengecekan kualitas air limbah dilakukan setiap tiga bulan sekali oleh pihak BPLHD yang hasil pengecekan tersebut dilaporkan kembali ke pihak pengelola IPAL rumah sakit atau dalam hal ini pengelola bidang Amdal dan Kesehatan Lingkungan rumah sakit.

Dalam pelaksanaannya, pengecekan yang dilakukan per tiga bulan ini lebih diutamakan pada pengecekan kualitas effluen dari IPAL. Sedangkan pengecekan influen hanya dilakukan setiap 9 bulan sekali. Dibawah ini merupakan tabel data inlet dan outlet IPAL Rumah Sakit Carolus yang merupakan laporan pemeriksaan dari BPLHD DKI Jakarta dengan baku mutu Peraturan Gubernur Prov. DKI Jakarta Nomor : 122 Tahun 2005 tentang Baku Mutu Limbah Cair Domestik.

Berikut ini akan dianalisis efisiensi atau persentase penurunan nilai tiap-tiap parameter pencemar yang terkandung dalam air limbah hasil olahan IPAL rumah sakit . Karena data sekunder yang diperoleh dari pihak rumah sakit lebih dari satu data untuk setiap parameter, maka untuk menghitung persentase penurunan kadarnya adalah dengan mencari nilai rata-rata dari data yang tersedia. Untuk pemeriksaan parameter pencemar pada inlet IPAL, tersedia dua data yaitu data hasil pemeriksaan pada tanggal 12 Oktober 2009 dan tanggal 22 Juli 2010. Maka nilai untuk parameter yang terdapat pada kedua data tersebutlah yang akan dirata-ratakan. Demikian pula halnya untuk data pada outlet IPAL. Berdasarkan data sekunder yang ada, terdapat lima jenis data untuk masing-masing parameter, maka untuk menghitung persentase penurunan kadar pencemar, angka yang akan digunakan adalah nilai rata-rata dari ke-lima data tersebut.

Besarnya persentase penurunan kadar pencemar (% removal), akan dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\% \text{ removal} = \frac{(\text{NilaiParameterDiInlet} - \text{NilaiParameterDiOutlet})}{\text{NilaiParameterDiInlet}} \times 100\%$$

Tabel 5.8 Data Inlet dan Outlet IPAL Rumah Sakit St. Carolus Berdasarkan Pemeriksaan BPLHD

Parameter Uji	BML (Pergub DKI 122/2005)	Influent / Data Inlet		Effluent / Data Outlet					% Removal
		12 Okt 09	22 Jul09	12 Okt 09	12 Jan 10	28 Apr 10	22 Juli 10	8 Okt 10	
pH	6-9	7,1	7,7	7,1	7,1	7,1	7,8	7,7	% Removal $= \frac{7,4 - 7,36}{7,4} \times 100\% = 0,54$
KMnO <sub>4</sub> (mg/l)	85	78,06	138,43	19,22	10,36	22,11	20,18	24,83	% Removal $= \frac{108,245 - 19,34}{108,245} \times 100 = 82,13$
TSS (mg/l)	50	60	91,0	3,0	4,0	4,0	3,0	8,0	% Removal $= \frac{75,5 - 4,4}{75,5} \times 100 = 94,17$
Ammonia (mg/l)	10	13,68	33,71	0,58	7,18	8,63	5,81	3,15	% Removal $= \frac{23,695 - 5,07}{23,696} \times 100 = 78,6$
Minyak-Lemak (mg/l)	10	0,21	0,46	0,04	0,28	0,54	-	-	% Removal $= \frac{0,335 - 0,287}{0,335} \times 100 = 14,43$
MBAS (mg/l)	2	0,63	0,75	0,02	0,02	0,11	0,04	0,11	% Removal

									$= \frac{0,69 - 0,06}{0,69} \times 100 = 91,3$
<b>COD</b>	80	151,35	283,74	39,64	15,20	41,60	37,83	36,00	% Removal $= \frac{217,545 - 34,054}{217,545} \times 100 = 84,35$
<b>BOD<sub>5</sub></b>	50	30,75	108,00	8,40	7,45	14,00	19,80	14,80	% Removal $= \frac{69,375 - 12,89}{69,375} \times 100 = 81,42$

Sumber : Data Hasil Olahan, 2010

Berdasarkan tabel diatas, dapat dilihat bahwa seluruh parameter yang diuji terutama pada bagian outlet IPAL berada di bawah baku mutu lingkungan yang ditetapkan oleh Peraturan Gubernur DKI Jakarta 122/2005 Tentang Limbah Cair Domestik.

### **5.5.1 Analisis Inlet IPAL**

Berikut ini akan dilakukan analisis inlet IPAL rumah sakit St.Carolus berdasarkan data hasil pemeriksaan kualitas inlet air limbah yang dilakukan oleh BPLHD DKI Jakarta. Untuk data pengukuran inlet ini, hanya tersedia data data hasil pengukuran, karena dalam 2 tahun terakhir, hanya dilakukan dua kali pengukuran kualitas limbah cair pada inlet, yaitu pada tanggal 12 Oktober 2009 dan 22 Juli 2010. Dalam pelaksanaannya di lapangan, pengukuran kualitas inlet IPAL hanya dilakukan per sembilan bulan, berbeda dengan pengukuran kualitas effluent air limbah yang secara rutin dilakukan pemeriksaan setiap 3 bulan sekali.

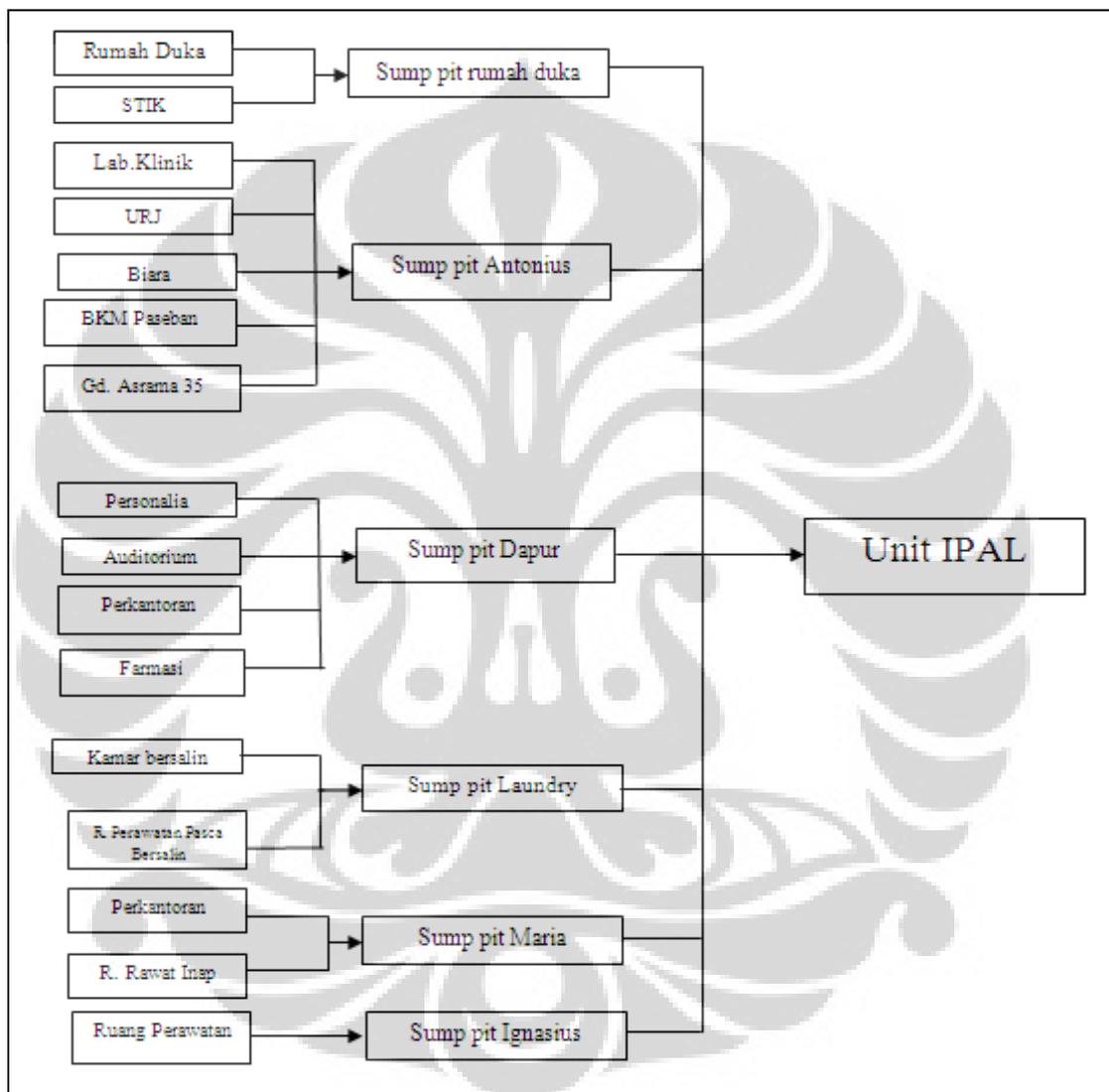
Tidak terlalu diperhatikannya kualitas influent ini diperkirakan karena berdasarkan peraturan yang ditetapkan oleh pemerintah, hanya diatur tentang kualitas effluent yang harus berada di bawah baku mutu yang diperbolehkan.

Berdasarkan tabel yang telah dipaparkan sebelumnya, dapat dilihat bahwa kualitas air limbah yang masuk ke unit IPAL untuk setiap parameternya berada pada nilai yang tidak terlalu tinggi. Hal ini diperkirakan karena penggunaan tangki septik sebagai treatment awal untuk limbah cair telah menurunkan kadar pencemar pada beberapa parameter seperti BOD dan TSS dengan nilai penurunan yang relatif signifikan.

Berdasarkan sumbernya, pada dasarnya air limbah yang masuk ke unit IPAL berasal dari 6 sumpit (bak pengumpul) yang menampung limbah cair dari berbagai aktivitas rumah sakit. Limbah cair yang ditampung oleh sumpit ini adalah rembesan dari tangki septik, karena hampir seluruh limbah cair yang ditimbulkan dari kegiatan rumah sakit ditampung di tangki septik. Kecuali untuk limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan dapur dan laundry. Untuk limbah cair yang ditimbulkan dari kegiatan dapur, akan ditampung pada unit penangkap lemak, untuk selanjutnya langsung dibuang ke Sungai Bluntas. Demikian pula halnya dengan limbah cair yang ditimbulkan dari kegiatan laundry. Untuk

Kegiatan laundry ini, limbah cair yang ditimbulkan akan dikumpulkan pada bak pengendap, kemudian langsung dibuang ke sunagi Bluntas.

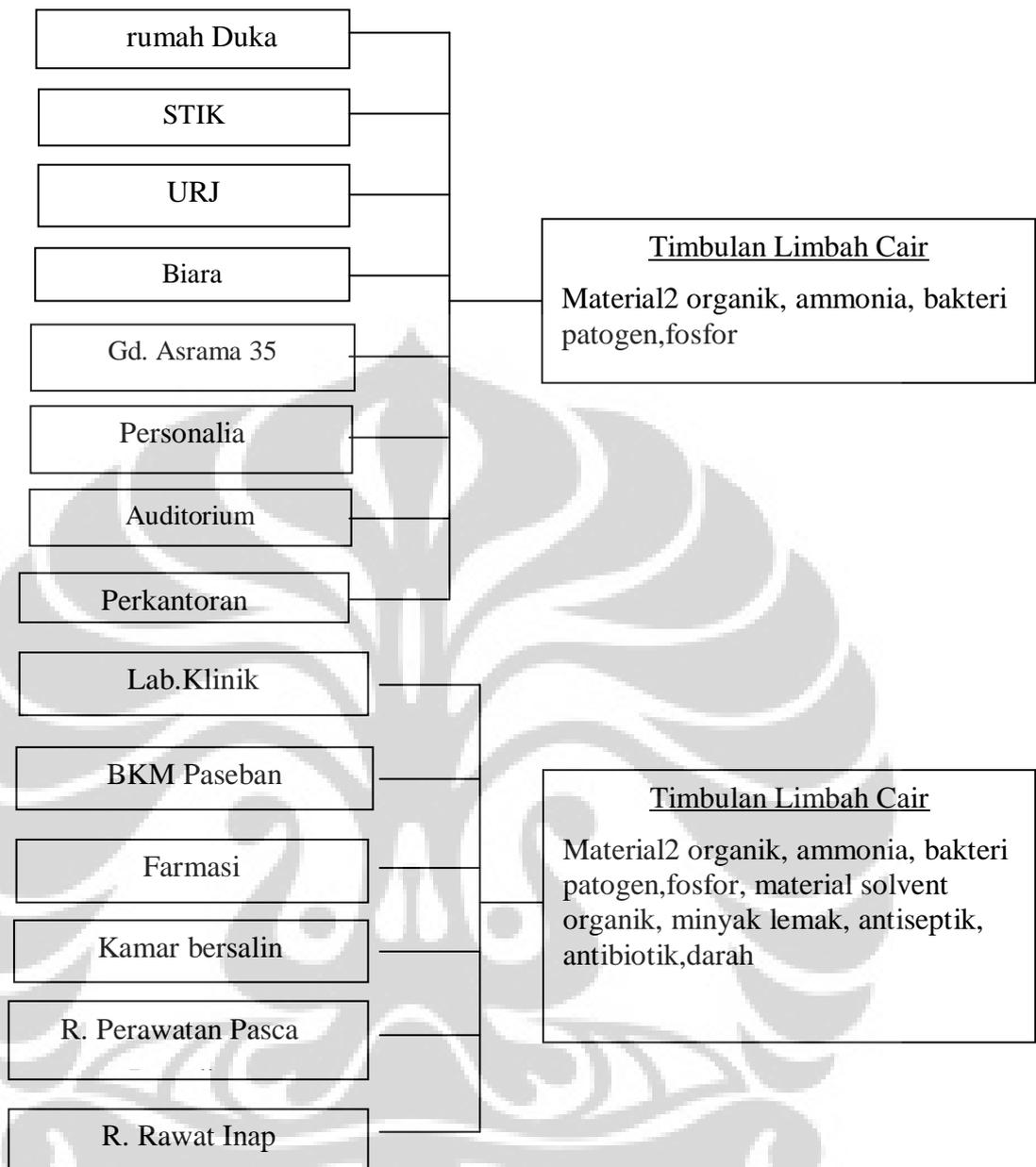
Dengan demikian, limbah cair yang akan masuk ke unit IPAL adalah dari seluruh aktivitas rumah sakit, kecuali kegiatan dapur dan laundry. Berikut adalah sumber air limbah yang masuk ke unit IPAL rumah sakit.



Gambar 5.2 Skema Aliran limbah Sebelum Masuk ke Unit IPAL rumah Sakit

Sumber : Rumah Sakit St. Carolus, 2010

Berdasarkan skema tersebut, dapat dilihat bahwa sebagian besar limbah cair berasal dari toilet/kamar mandi yang terdapat pada setiap fasilitas yang tersedia di rumah sakit St. Carolus. Berdasarkan sumber timbulan limbah cair tersebut, dapat diketahui karakteristik limbah cair yang akan masuk ke unit IPAL.



Gambar 5.3 Timbulan Limbah Cair dari unit Kegiatan di Rumah Sakit

Sumber: RS Carolus, 2010

Berdasarkan data hasil pemeriksaan kualitas influent parameter yang diuji oleh BPLHD, terlihat bahwa kandungan untuk semua parameter relatif rendah, walaupun pada beberapa parameter Ammonia dan COD nilainya relatif tinggi. Dalam artian, kualitas influent yang masuk ke IPAL membutuhkan removal yang cukup besar untuk dapat memenuhi baku mutu lingkungan.

- Ammonia

Keberadaan ammonia dalam timbulan limbah cair rumah sakit ini berasal dari kamar mandi yaitu berupa urine dan feces. Karena sebagian besar sumber timbulan limbah cair adalah dari kegiatan di kamar mandi/ toilet, maka kadar ammonia yang terdapat pada inlet IPAL relatif tinggi. Tingginya nilai ammonia pada inlet IPAL juga diperkirakan karena pada tangki septik, tidak terjadi removal ammonia seperti yang terjadi pada BOD dan TSS.

- COD

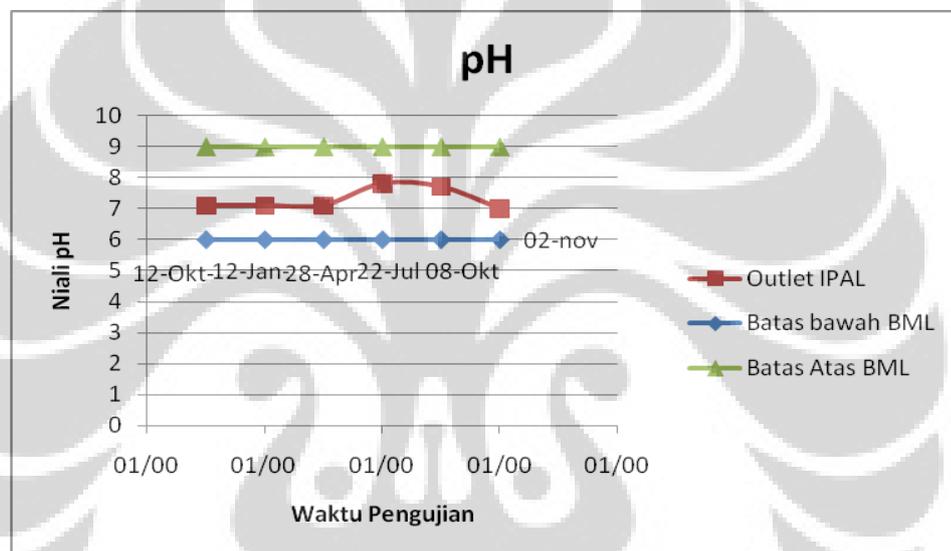
Kandungan COD dalam air limbah berasal dari material organik yang sebagian besar mendominasi timbulan limbah cair untuk berbagai kegiatan rumah sakit. Selain karena komposisi material organik yang relatif besar pada sumber timbulan limbah cair, tingginya kadar COD ini diperkirakan karena tidak terdapatnya penurunan kadar COD (removal) saat limbah cair mendapatkan treatment pada tangki septik.

Berdasarkan data pada tabel diatas, maka dapat diketahui bahwa sebagian besar komposisi limbah cair yang akan masuk ke unit IPAL adalah material organik, ammonia, fosfor, minyak lemak dan limbah medis. Pada dasarnya sebagian besar limbah cair yang masuk adalah limbah non medis, dengan persentase antara limbah medis:limbah non medis adalah 89%:11% (Draft Pedoman Teknis IPAL Dengan Sistem Aerobik Lumpur Aktif pada Fasilitas Pelayanan Kesehatan, 2008). Tingginya nilai kadar pencemar pada COD dan ammonia di inlet pada dasarnya tidak menjadi masalah yang mengganggu kinerja IPAL, karena proses pengolahan yang terdapat pada IPAL dapat menurunkan kadar kedua parameter ini samapai berada dibawah baku mutu yang diperbolehkan. Hal ini terlihat dari besarnya persentase penurunan kedua parameter tersebut dan kandungan kedua parameter tersebut pada effluent yang berada dibawah baku mutu lingkungan yang diizinkan.

### 5.5.2 Analisa Outlet IPAL

Selanjutnya, akan dilakukan analisis untuk setiap parameter yang telah ditetapkan oleh Pergub No.122 Tahun 2005 ini, yaitu nilai pH, kandungan zat organik  $\text{KMnO}_4$ , Zat Padat Tersuspensi (TSS), Ammonia, Minyak-Lemak, Senyawa aktif Methylen Blue (MBAS), COD dan  $\text{BOD}_5$ . Keseluruhan data pada grafik ini merupakan data hasil pemeriksaan yang diperoleh dari rumah sakit St. Carolus, kecuali data Tanggal 2 November yang merupakan analisis laboratorium yang penulis lakukan di lab. TPL FTUI

#### ▪ pH (Derajat Keasaman)



Gambar 5.4 Grafik Kandungan pH pada Effluent IPAL

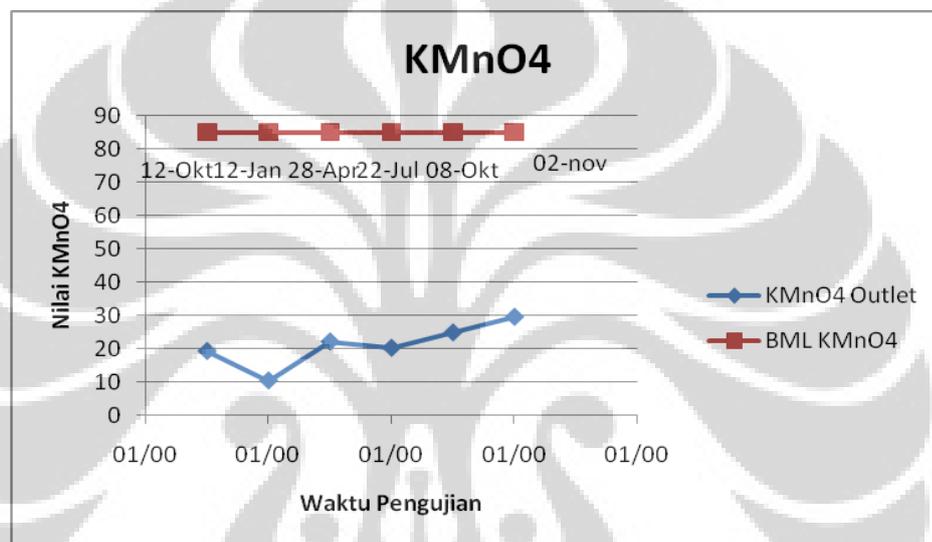
Sumber : Data dari RS Carolus, 2010

Dari grafik diatas, dapat dilihat bahwa nilai pH pada outlet IPAL Rumah Sakit berada pada kadar yang aman untuk dibuang ke badan air. Berdasarkan baku mutu lingkungan yang ditetapkan oleh Pergub 122/2005 Tentang Limbah domestik, dinyatakan bahwa derajat keasaman air limbah yang aman dibuang ke badan air adalah yang berada dalam rentang pH 6-9.

Berdasarkan data hasil pemeriksaan kualitas air limbah pada outlet IPAL yang dilakukan oleh BPLHD DKI Jakarta, terlihat bahwa derajat keasaman air limbah berada pada kondisi normal, yaitu dari rentang 7,1-7,8. Adanya angka baku mutu 6-9 untuk derajat keasaman ini adalah karena pada rentang tersebut, air berada pada kondisi netral, tidak terlalu asam dan tidak terlalu basa. Kondisi

terlalu asam atau terlalu basa pada air hasil olahan, akan merusak ekosistem badan air penerima. Jika kondisi air olahan yang dibuang ke badan air terlalu asam, maka akan mengganggu stabilitas ekosistem di badan air tersebut. Sedangkan jika air olahan yang masuk ke badan air penerima terlalu basa, maka badan air tersebut akan mengandung kesadahan yang tinggi, dan hal ini juga akan mengganggu stabilitas badan air penerima.

- **Kandungan Zat Organik (KMnO<sub>4</sub>)**



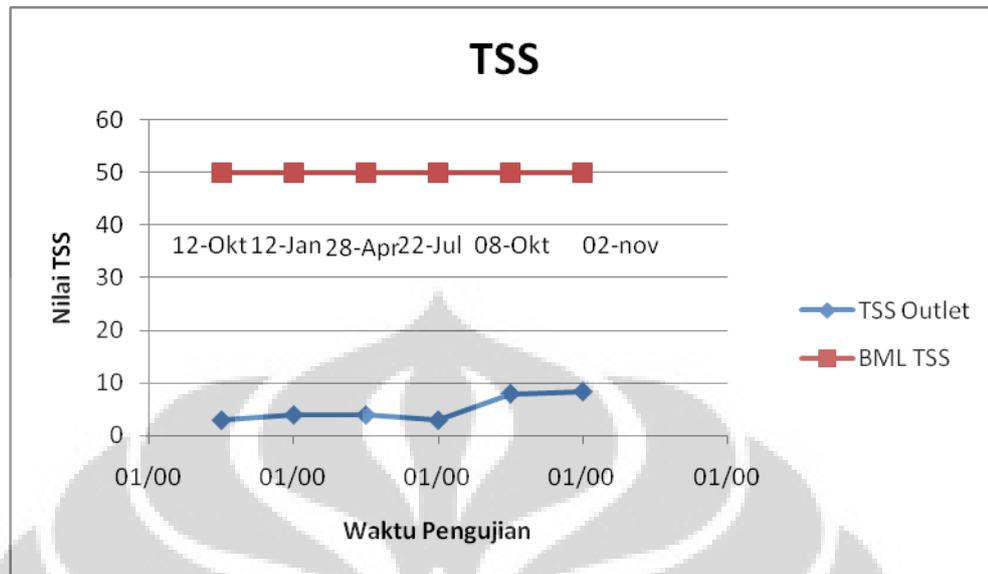
Gambar 5.5 Grafik Kandungan Zat Organik (KMnO<sub>4</sub>) pada Effluent IPAL

Sumber : Data dari RS Carolus, 2010

Berdasarkan grafik, dapat dilihat bahwa kandungan zat organik KMnO<sub>4</sub> pada air hasil olahan IPAL berada pada kondisi yang aman untuk dibuang ke badan air penerima. Berdasarkan baku mutu yang ditetapkan melalui Pergub 122/2005, dinyatakan bahwa kadar maksimal KMnO<sub>4</sub> pada air buangan adalah 85 mg/l. Sedangkan pada effluent IPAL, dapat dilihat bahwa kandungan KMnO<sub>4</sub> berada pada rentang 10,36-24,83 mg/l. Ini artinya, air olahan IPAL ini aman untuk dibuang ke badan air penerima.

Secara teoritis, jika nilai permanganat yang terkandung dalam air terlalu tinggi, hal ini akan menimbulkan warna, rasa dan bau serta menimbulkan kekeruhan pada air.

- **Zat Padat Tersuspensi (TSS)**



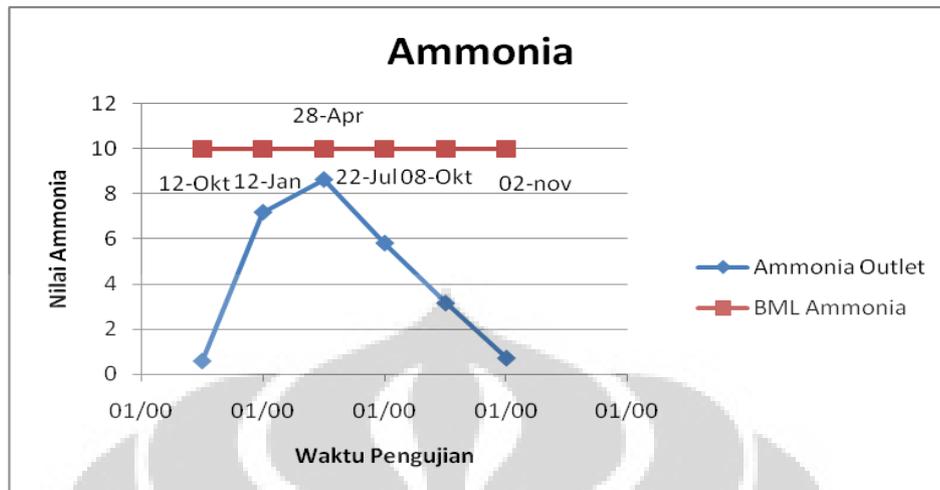
Gambar 5.6 Grafik Kandungan Zat Padat Tersuspensi (TSS) pada Effluent IPAL

Sumber : Data dari RS Carolus, 2010

Berdasarkan gambar grafik diatas, dapat dilihat bahwa kandungan TSS pada air olahan dari IPAL berada dibawah baku mutu yang ditetapkan oleh Pergub122/2005. Pada outlet IPAL, effluent yang dihasilkan dari pengolahan mengandung TSS yang relatif kecil. Nilai TSS yang terkandung pada effluent berada pada rentang 3- 8 mg/l dengan baku mutu 50 mg/l.

Angka ini menunjukkan bahwa treatment yang diberikan kepada air limbah yang masuk pada unit IPAL telah berjalan efektif untuk menurunkan kandungan TSS air limbah sehingga aman untuk dibuang ke badan air. Selain itu, rendahnya kadar TSS yang masuk ke unit IPAL turut berkontribusi menjadikan kandungan TSS di effluent relatif rendah. Keberadaan tangki septik sebagai treatment awal terhadap air limbah menjadikan kadar TSS yang harus diolah di unit IPAL menjadi relatif kecil. Hal ini disebabkan oleh kemampuan tangki septik dalam removal TSS yang mencapai angka 81,64% (Mara dan Silva, 1986)

- **Ammonia**



Gambar 5.7 Grafik Kandungan Ammonia pada Effluent IPAL

Sumber : Data dari RS Carolus, 2010

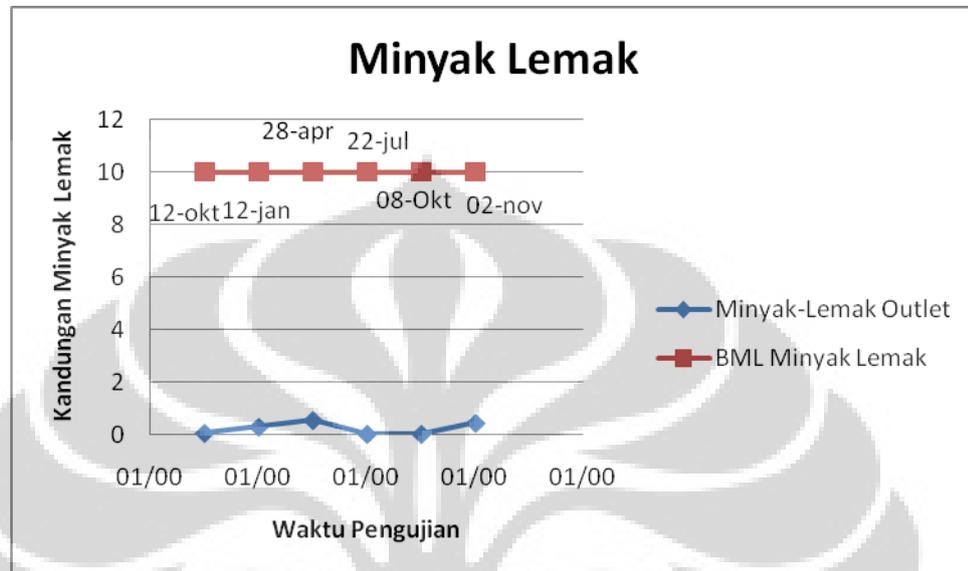
Berdasarkan grafik kandungan ammonia diatas, dapat diketahui bahwa kandungan ammonia pada effluent air limbah aman karena berada di bawah baku mutu lingkungan. Berdasarkan data hasil pengujian kualitas effluent IPAL yang dilakukan oleh BPLHD DKI Jakarta, ammonia dalam effluent air limbah ini berada dalam rentang 0,58-8,63 mg/l, dengan baku mutu 10 mg/l.

Keberadaan ammonia dalam air limbah ini, selain akibat rekasi dari nitrogen, juga dipengaruhi oleh tingkat hunian rumah sakit. Semakin tinggi tingkat hunian rumah sakit, maka ammonia yang terkandung dalam timbulan air limbahnya juga akan relatif tinggi. Hal ini karena salah satu penyumbang ammonia terbesar dalam air limbah adalah akibat urine dan feces manusia. Jadi, jika tingkat hunian rumah sakit tinggi, maka dapat dipastikan bahwa kandungan ammonia dalam timbulan air limbah rumah sakit juga tinggi. Dari beberapa data effluent air olahan IPAL rumah sakit ini, kandungan ammonia seluruhnya berada di bawah baku mutu. Ini artinya, treatment yang terjadi pada IPAL relatif baik untuk penurunan kadar ammonia.

Kandungan ammonia yang relatif kecil pada effluent air limbah ini menunjukkan bahwa proses clarifier (sedimentasi) berjalan dengan efektif. Selain itu, salah satu treatment yang juga berpengaruh terhadap kandungan ammonia

adalah proses aerasi. Proses aerasi yang tepat akan membantu menurunkan kadar ammonia dalam limbah cair.

- **Minyak dan Lemak**

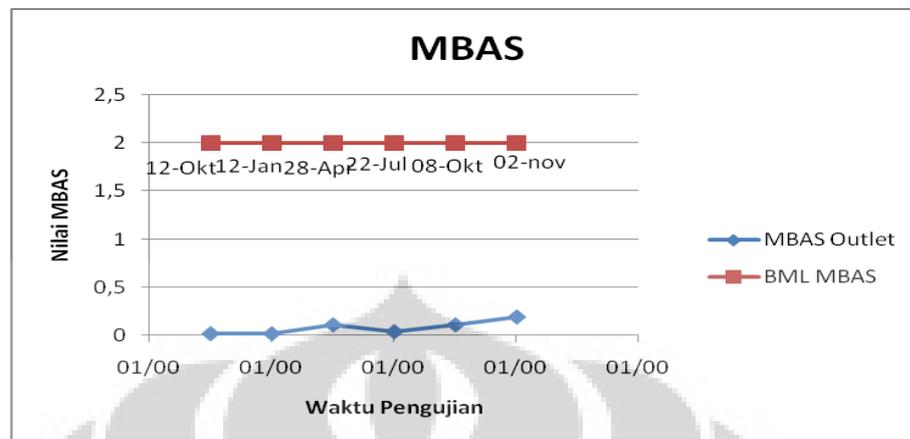


Gambar 5.8 Grafik Kandungan Minyak dan Lemak pada Effluent IPAL

Sumber : Data dari RS Carolus, 2010

Data konsentrasi minyak dan lemak seperti terlihat pada grafik dapat dikatakan jauh di bawah nilai baku mutu, bahkan ada yang mencapai nilai 0 mg/l. Hal ini dapat terjadi karena bak penangkap minyak/lemak (*grease trap*) yang terdapat pada unit awal IPAL berfungsi dengan baik. Selain itu, tidak dimasukkannya limbah cair dari dapur ke unit IPAL menjadikan beban minyak lemak yang masuk ke unit IPAL menjadi relatif kecil.

- **Senyawa Aktif Methylen Blue (MBAS)**



Gambar 5.9 Grafik Kandungan MBAS pada Effluent IPAL

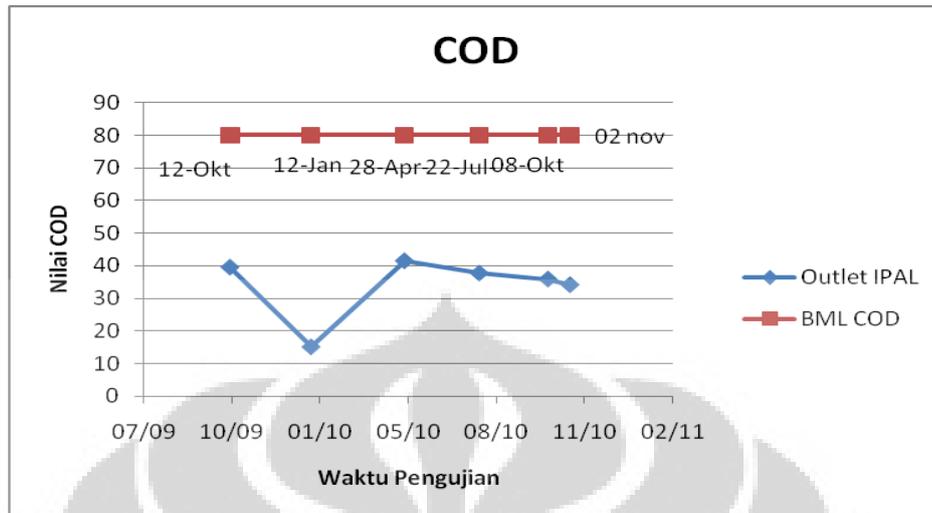
Sumber : Data dari RS Carolus, 2010

Kandungan senyawa aktif methylen Blue (MBAS) menunjukkan adanya *surfactant* atau detergen pada proses pengolahan air limbah. Untuk Instalasi pengolahan air limbah rumah sakit ini, kandungan MBAS nya relatif sangat kecil. Nilai MBAS di outlet IPAL berada dalam rentang 0,02-0,11 mg/l. Nilai ini jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan baku mutu yang ditetapkan Pergub 122/2005, bahwa baku mutu MBAS yang diperbolehkan pada effluent air limbah adalah 2 mg/l.

Rendahnya nilai MBAS ini disebabkan karena kadar MBAS yang masuk ke unit pengolahan juga relatif kecil. Hal ini terjadi karena timbulan limbah cair dari kegiatan laundry tidak masuk ke unit IPAL. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, bahwa limbah dari kegiatan laundry akan diendapkan tersendiri dan langsung dibuang ke Sungai Bluntas. Dengan demikian, kandungan *surfactan* yang terdapat pada timbulan limbah cair adalah yang berasal dari penggunaan sabun atau detergent oleh pasien atau keluarga pasien, yang jumlahnya relatif sangat kecil.

Bila dilihat dari efisiensi pengolahannya, penurunan kadar MBAS ini juga relatif baik dengan % *removal* mencapai 91,3 %.

- **COD**

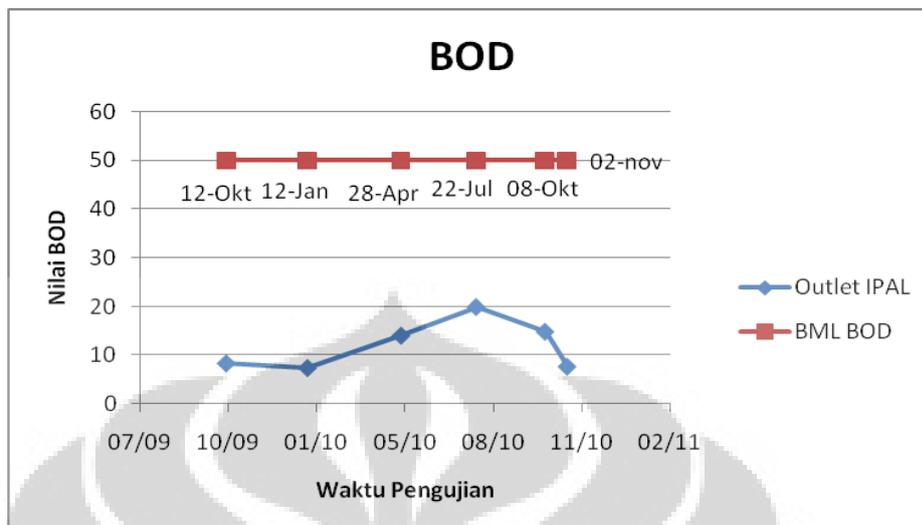


Gambar 5.10 Grafik Kandungan COD pada Effluent IPAL

Sumber : Data dari RS Carolus, 2010

Konsentrasi COD pada effluent air limbah secara umum dapat dikatakan telah memenuhi baku mutu yang disyaratkan. Dengan rentang antara 15,20-41,60 mg/l, nilai ini jauh lebih kecil dari baku mutu yang diperbolehkan yaitu 80 mg/l. Jika dilihat dari efisiensi penurunan kadar pencemar COD Yang dalam hal ini diperlihatkan oleh *%removal* dengan nilai mencapai 84,35 %, dapat disimpulkan bahwa proses pengolahan sekunder yang terjadi atau dalam hal ini proses pengolahan biologis berjalan dengan baik. Proses pengolahan sekunder dengan sistem bioreaktor ini dinilai cukup efektif untuk menurunkan kadar COD yang terkandung dalam air olahan. Selain itu, tidak terlalu tingginya kadar COD yang masuk ke unit IPAL turut menjadi sebab nilai COD pada effluent IPAL relatif rendah.

- **BOD<sub>5</sub>**



Gambar 5.11 Grafik Kandungan BOD pada Effluent IPAL

Sumber : Data dari RS Carolus, 2010

Berdasarkan grafik, dapat dilihat bahwa kandungan BOD pada effluent IPAL relatif rendah. Dengan rentang nilai BOD pada effluent 7,45-19,48 mg/l, menunjukkan nilai yang aman untuk badan air, karena baku mutu yang ditetapkan oleh Pergub DKI No.122/2005 adalah pada kadar 50 mg/l.

Sama halnya dengan COD, rendahnya nilai BOD pada effluent air limbah juga disebabkan oleh rendahnya konsentrasi BOD pada inlet IPAL. Dengan kadar BOD pada inlet 69,75 mg/l (nilai rata-rata dari dua data inlet yang ada), maka untuk mencapai baku mutu yang aman untuk lingkungan sebenarnya hanya membutuhkan % removal yang kecil. Dengan optimalnya proses pengolahan biologis yang terjadi dengan sistem bioreaktor ini, maka efisiensi pengolahan BOD dapat mencapai 81,42 %. Hal ini menjadikan kandungan BOD yang terdapat pada effluent pun semakin jauh dibawah baku mut, sehingga aman untuk dibuang ke badan air.

Rendahny konsentrai BOD yang masuk ke unit IPAL, sebagian besar dipengaruhi oleh efektifnya treatment yang terjadi pada tangki septik. Penggunaan tangki septik sebagai treatment awal sebelum air limbah masuk ke unit IPAL menjadi hal yang efektif untuk dilakukan, karena pada tangki septik ini, removal BOD dapat mencapai 85% (Mara dan Silva, 1986)

## 5.7 Perbandingan Data Sekunder dengan Analisis Laboratorium

Berikut ini, akan dilakukan perbandingan data kualitas limbah cair influent dan effluent dari IPAL rumah sakit, antara data dari pihak rumah sakit (data sekunder) dengan hasil analisis laboratorium

Tabel 5.9 Perbandingan Data Sekunder dengan Analisis Laboratorium

Parameter	Satuan	Baku Mutu*	Influent		Effluent	
			Data Sekunder**	Analisis Laboratorium	Data Sekunder**	Analisis Laboratorium
pH	-	6-9	7,4	7	7,36	7
Zat Organik (KMnO <sub>4</sub> )	mg/l	85	108,245	91,3	19,34	29,52
Zat Padat Tersuspensi	mg/l	50	75,5	183,4	4,4	8,4
Ammonia	mg/l	10	23,695	34	5,07	0,71
Minyak dan Lemak	mg/l	10	0,335	0,52	0,287	0,43
Senyawa Aktif Biru Metilen	mg/l	2	0,69	0,41	0,06	0,19
COD	mg/l	80	217,545	129,40	34,054	34,26
BOD <sub>5</sub>	mg/l	50	69,375	31,712	12,89	7,72

Sumber: RS Carolus dan Data Laboratorium, 2010

Keterangan:

\*Pergub DKI Jakarta No122/Tahun 2005

\*\*Nilai rata-rata dari data yang ada

Dari tabel tersebut, untuk data influent, dapat dilihat bahwa data yang diperoleh dari hasil analisis laboratorium tidak jauh berbeda untuk beberapa parameter seperti pH, kandungan minyak lemak dan kandungan senyawa aktif methylen blue (MBAS). Untuk parameter yang lain seperti kandungan zat organik ( $\text{KMnO}_4$ ), zat padat tersuspensi (TSS), COD dan  $\text{BOD}_5$  terdapat perbedaan yang cukup besar. Hal ini diperkirakan karena data sekunder merupakan data yang diperoleh dari dua kali hasil pemeriksaan (dua bulan), sedangkan data yang diperoleh dari analisis laboratorium merupakan data yang diperoleh dengan satu kali sampling.

Demikian pula halnya untuk data pada effluent. Akan tetapi, untuk data effluent tidak terlalu terlihat adanya perbedaan yang mencolok dengan data yang diperoleh dari hasil analisis laboratorium. Berdasarkan data sekunder yang diperoleh dari pihak rumah sakit dan data hasil analisis laboratorium, dapat dilihat bahwa kualitas effluent dari unit IPAL di rumah sakit St. Carolus dapat berjalan dengan baik. Hal ini terlihat dari kualitas effluent yang berada dibawah nilai baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan.

## BAB VI

### PENUTUP

#### 6.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini antara lain:

1. Secara umum, proses pengolahan limbah cair yang dilaksanakan di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) rumah sakit St. Carolus sudah berjalan baik dan optimal. Hal ini ditandai dengan kualitas effluent di bawah nilai baku mutu lingkungan yang ditetapkan, dan efisiensi yang terjadi cukup baik.

Berikut tabel efisiensi proses yang terjadi pada IPAL berdasarkan hasil analisis laboratorium:

Tabel 6.1 Hasil Analisis Berdasarkan Data Laboratorium

Parameter	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Efisiensi
pH*	7	7	-
Zat Padat Tersuspensi (TSS)*	183,4	8,4	95,42%
BOD <sub>5</sub> *	31,712	7,72	75,66%
COD*	129,40	34,26	73,52%
Minyak Lemak**	0,52	0,43	17,30%
Zat Organik (KMnO <sub>4</sub> )**	74,6	29,52	60,43%
Senyawa Aktif Biru Metilen**	0,6	0,19	68,33%
Ammonia *	34	0,71	98%

Sumber : Hasil Analisis Laboratorium, 2010

Ket: \* = Pemeriksaan Laboratorium Teknik Kesehatan dan Lingkungan, FTUI

\*\* = Pemeriksaan Laboratorium Afiliasi, Dep. Kimia, FMIPA UI

2. Analisis efektifitas IPAL berdasarkan data sekunder yang diperoleh dari pihak rumah sakit, kondisi dan kinerja IPAL relatif baik, ditandai dengan efisiensi untuk setiap parameter yang cukup baik

Tabel 6.2 Hasil Analisis Berdasarkan data sekunder:

Parameter	Satuan	Efisiensi (%)
pH	-	0,54
Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/l	82,13
BOD <sub>5</sub>	mg/l	94,17
COD	mg/l	78,6
Minyak Lemak	mg/l	14,43
Zat Organik (KMnO <sub>4</sub> )	mg/l	91,3
Senyawa Aktif Biru Metilen	mg/l	84,35
Ammonia	mg/l	81,42

Sumber: RS Carolus, 2010

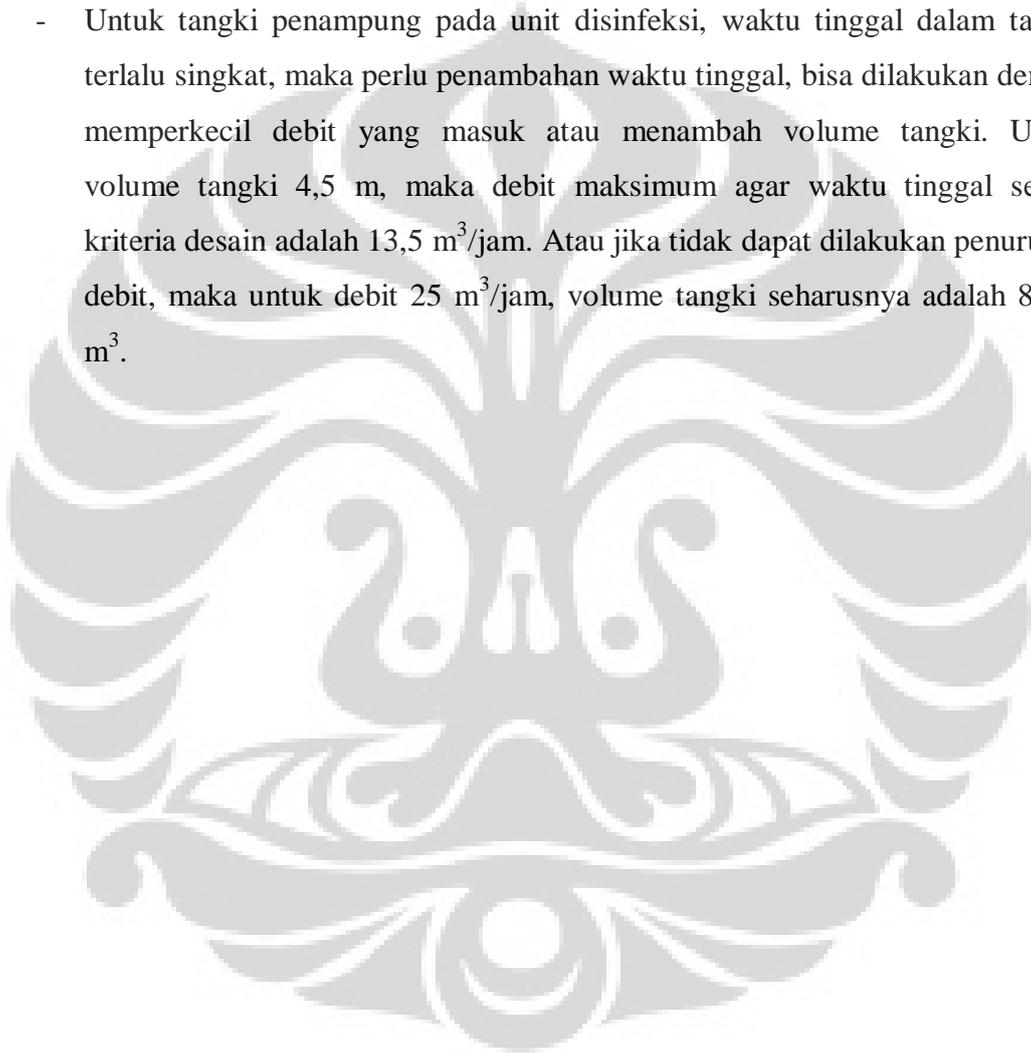
- Untuk setiap unit proses pengolahan pada IPAL rumah sakit St. Carolus, efisiensi yang ditandai dengan % removal pada bak clarifier dan FBK-Bioreaktor relatif baik, walaupun pada unit pengolahan biologis (FBK-Bioreaktor) efisiensi tidak mencapai 80 %.

## 6.2 Saran

Adapun saran untuk IPAL rumah sakit St. Carolus:

- Berdasarkan perhitungan efektivitas dimensi unit-unit pada IPAL, diketahui bahwa waktu tinggal dalam bak ekualisasi terlalu lama, yaitu mencapai 16,5 jam. Nilai ini jauh lebih tinggi dari kriteria desain yaitu 2 jam. Jika waktu tinggal terlalu lama, maka akan mengakibatkan endapan lumpur pada unit ekualisasi
- Unit ekualisasi yang tersedia pada IPAL hanya satu kompartemen, hal ini akan menyulitkan saat pemeliharaan ataupun pembersihan unit. Sebaiknya terdapat dua unit bak ekualisasi, sehingga saat satu unit dalam pembersihan, unit yang lain tetap dapat berfungsi.
- Secara dimensi, kedalaman bak pada unit ekualisasi terlalu besar. Berdasarkan kriteria desain, kedalaman optimal bak ekualisasi adalah 2 m. Untuk kondisi eksisting IPAL, berdasarkan re desain, dapat dibangun dua unit ekualisasi dengan dimensi 3m x 3m x 2m

- Untuk unit FBK-Bioreaktor, dimensi unit tidak sesuai dengan kriteria desain. Perbandingan panjang x lebar x tinggi tidak sesuai dengan kriteria desain. Untuk kedalaman bak 2,8 m, maka lebar minimal adalah 2,7 m dan panjang bak minimal 13,5 m. Jika nilai maksimal panjang bak yang dapat dibangun sesuai dengan ketersediaan lahan adalah 8,4 m, maka lebarnya adalah 1,68 m dan tinggi bak 1,12 meter.
- Untuk tangki penampung pada unit disinfeksi, waktu tinggal dalam tangki terlalu singkat, maka perlu penambahan waktu tinggal, bisa dilakukan dengan memperkecil debit yang masuk atau menambah volume tangki. Untuk volume tangki 4,5 m, maka debit maksimum agar waktu tinggal sesuai kriteria desain adalah  $13,5 \text{ m}^3/\text{jam}$ . Atau jika tidak dapat dilakukan penurunan debit, maka untuk debit  $25 \text{ m}^3/\text{jam}$ , volume tangki seharusnya adalah  $8,333 \text{ m}^3$ .



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sianturi, G. (2003). *Limbah Rumah Sakit Belum Dikelola dengan Baik*. <http://www.suarapembaruan.com>, [diakses pada 20 Oktober 2009]
- [2] Depkes. (2006). *Penanganan Limbah Medis Tajam Harus Segera Dibenahi*. <http://www.depkes.go.id.html.2006> [diakses pada 13 Desember 2009]
- [3] Said dan Ineza (2002). Uji performance pengolahan air limbah rumah sakit dengan proses biofilter tercelup. Jakarta : Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan
- [4] Agustiani E, Slamet A, Rahayu DW (2000). Penambahan powdered activated carbon (PAC) pada proses lumpur aktif untuk pengolahan air limbah rumah sakit. *Majalah IPTEK: jurnal ilmu pengetahuan alam dan teknologi* : 11 (1): 30-8
- [5] Said NI (1999). Teknologi pengolahan air limbah rumah sakit dengan sistem "biofilter anaerob-aerob". Seminar Teknologi Pengelolaan Limbah II: prosiding, Jakarta, 16-7 Feb 1999.
- [6] Shahib MN, Djustiana N (1998). Profil DNA plasmid E. coli yang diisolasi dari limbah cair rumah sakit. *Majalah Kedokteran Bandung* : 30 (1) 1998: 328-41
- [7] Sabayang P, Muljadi, Budi P (1996). Konstruksi dan evaluasi insinerator untuk limbah padat rumah sakit. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Pusat Penelitian dan Pengembangan Fisika Terapan Bandung : Pusat Penelitian dan Pengembangan Fisika Terapan Shahib MN (1999) Penerapan teknik "Polymerase chain Reaction" (PCR) untuk memonitor pencemaran lingkungan oleh senyawa merkuri (Hg) pada limbah cair rumah sakit. Kongres Himpunan Toksikologi Indonesia: prosiding, Jakarta, 22-23 Feb 1999
- [8] Haryanto (2001). Analisis senyawa-senyawa kimia limbah cair rumah sakit Kodya Jambi. *Percikan* : 31 (Mei): 54-9

- [9] Sundana EJ (2000). Hospital waste minimization in Indonesia case studi: Muhammadiyah Bandung General Hospital (RSMB). *Jurnal Itenas* : 4 (1): 43-9
- [10] Rostiyanti SF, Sulaiman F (2001). Studi pemeliharaan bangunan pengolahan air limbah dan incinerator pada rumah sakit di Jakarta. *Jurnal Kajian Teknologi* : 3 (2): 113-23
- [11] Hananto WM (1999). Mikroorganisme patogen limbah cair rumah sakit dan dampak kesehatan yang ditimbulkannya. *Bul Keslingmas* : 18 (70) 1999: 37-44
- [12] Metcalf, Eddy (2004). *Waste Water Treatment*. Mc.Graw Hill
- [13] Qasim, Syed (1991 ) . *Waste Water Treatment Plan*. Mc.Graw Hill
- [14] Reynold. Richard, (1996). *Unit Operation and Process*. PWS Publishing Company
- [15] Peavy S. Howard, Rowe.Donald R, Tchobanoglous (1985) *Environmetl Engineering* Mc. Graw Hill International
- [16] Keputusan Menteri Kesehatan Nomor: 1204/MENKES/ SK/2004 tahun 2004 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit
- [17] Ratledge C, Kristiansen B. 2001. *Basic Biotechnology*. Cambridge: Cambridge University Pr. Hal. 5-17.
- [18] John Tampion, M. D. Tampion (1987). *Immobilized cells: principles and applications*. Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-25556-1.
- [19] Villadsen J, Lidén G. 2003. *Bioreactor Engineering Principles*. New York : Plenum Press. Hal. 11-15
- [20] Williams JA. 2002. Keys to bioreactor selection. *Chemical Eng Progress* 98(3):34-41
- [21] Depkes RI. 2008. *Draft Pedoman Teknis Instalasi Pengolahan air limbah (IPAL) dengan Sistem Aerobik Lumpur Aktif pada Fasilitas Pelayanan Kesehatan*. Depkes RI
- [22] Maulana, Rizal. 2009. *Definisi Rumah Sakit*. <http://indonetasia.com/definisionline/?p=703> (diakses pada 20 November 2009)