

SERI SANITASI LINGKUNGAN
PEDOMAN TEKNIS

INSTALASI

PENGOLAHAN AIR LIMBAH

DENGAN SISTEM BIOFILTER ANAEROB AEROB
PADA FASILITAS PELAYANAN KESEHATAN



**KEMENTERIAN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL BINA UPAYA KESEHATAN**

**DIREKTORAT BINA PELAYANAN PENUNJANG MEDIK DAN SARANA
KESEHATAN**

JAKARTA 2011



**KEMENTERIAN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL BINA UPAYA KESEHATAN**

DIREKTORAT BINA PELAYANAN PENUNJANG MEDIK DAN SARANA KESEHATAN

KATA PENGANTAR

Air limbah yang dihasilkan oleh kegiatan rumah sakit atau fasilitas pelayanan kesehatan yang lain merupakan salah satu sumber pencemaran air yang sangat potensial karena mengandung senyawa organik yang cukup tinggi, serta senyawa kimia lain yang berbahaya serta mikroorganisme patogen yang berbahaya bagi kesehatan. Oleh karena itu air limbah tersebut harus dikelola dengan baik agar tidak menimbulkan masalah bagi lingkungan maupun masalah kesehatan masyarakat.

Oleh karena potensi dampak terhadap lingkungan maupun kesehatan masyarakat sangat besar maka berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan No. 1204/Menkes/SK/X2004 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit maka setiap fasilitas pelayanan kesehatan diwajibkan memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Sedangkan baku mutu air limbah mengacu pada Keputusan Menteri Negara Hidup No.58 Tahun 1995 tanggal 21 Desember 1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Rumah Sakit.

Berdasarkan ketentuan tersebut maka diperlukan teknologi yang tepat untuk mengolah air limbah tersebut. Salah satu teknologi pengolahan air limbah yang telah digunakan adalah IPAL dengan sistem anaerob aerob biofilter. Permasalahan yang sering muncul didalam penggunaan teknologi IPAL sistem tersebut adalah kegagalan proses dan atau efisiensi pengolahan yang rendah akibat dari desain yang kurang tepat dan operator IPAL yang kurang memahami proses pengolahan. Di samping pihak manajemen yang kurang memberikan perhatian terhadap keberlangsungan operasionalisasi Instalasi Pengolahan Air Limbah.

Dalam upaya memaksimalkan kemampuan proses pengolahan air limbah melalui pengolahan biologis dengan sistem anaerob aerob biofilter di fasilitas pelayanan kesehatan agar dapat optimal dan efisien serta menghasilkan efluen yang memenuhi baku mutu yang berlaku, maka disusun panduan atau buku Pedoman Teknis Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dengan Sistem Anaerob Aerob Biofilter pada Fasilitas Pelayanan Kesehatan. Buku pedoman ini disusun dengan partisipasi berbagai pihak termasuk rumah sakit, organisasi profesi serta instansi terkait baik pembina, pengelola maupun pengawas kesehatan lingkungan.

Buku pedoman ini diharapkan dapat menjadi acuan awal bagi para pengelola fasilitas pelayanan kesehatan, praktisi kesehatan lingkungan, perencana fasilitas kesehatan serta pemerhati di bidang kesehatan lingkungan untuk dapat mengembangkan suatu pengelolaan air limbah pada fasilitas pelayanan kesehatan yang memenuhi persyaratan.

Kami mengucapkan terima kasih kepada tim penyusun dan semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan pedoman ini.

Jakarta, Desember 2011

Direktur Bina Pelayanan Penunjang Medik Dan Sarana Kesehatan

dr. Zamrud Ewita Aldy, Sp.PK., M.M.
NIP. 195607111983032002

**PEDOMAN TEKNIS
INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH
DENGAN SISTEM BIOFILTER ANAEROB AEROB
PADA FASILITAS PELAYANAN KESEHATAN**

DAFTAR ISI

Kata Pengantar		i
Daftar Isi		iii
Daftar Tabel		vii
Daftar Gambar		ix
Daftar Lampiran		xiii
Tim Penyusun		xiv
Pendahuluan		xvii
BAB 1	Ketentuan Umum	1
1.1	Pengertian	1
1.2	Tujuan dan Sasaran	2
1.2.1	Tujuan	2
1.2.2	Sasaran	2
1.3	Dasar Hukum	2
1.4	Ruang Lingkup	3
1.5	Pengelolaan Air Limbah Di Fasilitas Pelayanan Kesehatan	4
1.5.1	Jenis dan sumber air limbah yang harus diolah	4
1.5.2	Karakteristik Air Limbah	5
1.5.3	Baku Mutu Air Limbah atau Limbah Cair Rumah Sakit Atau Fasilitas Pelayanan Kesehatan	9
BAB 2	TEKNOLOGI PENGOLAHAN AIR LIMBAH	10
2.1	Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Biologis	10
2.2	Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Biofilter Tercelup	16
2.2.1	Proses Biofilter	16
2.2.2	Proses Biofilter Anaerob	19
2.2.2.1	Penguraian satu tahap	19
2.2.2.2	Penguraian dua tahap	20
2.2.2.3	Proses Mikrobiologi Dalam Penguraian Anaerob	21
2.2.3	Proses Biofilter Aerob	32
2.2.3.1	Penghilangan Zat Organik	32
2.2.3.2	Penghilangan Amoniak	35
2.2.4	Proses Biofilter Anaerob Aerob	38
2.2.4.1	Pengolahan Air Limbah Proses Biofilter Anaerob Aerob	39
2.2.4.2	Keunggulan Proses dengan Biofilter “Anaerob-Aerob”	41
2.2.4.3	Kriteria Perencanaan Biofilter Anaerob Aerob	43
2.2.4.3.1	Kriteria Pemilihan Media Biofilter	43
2.2.4.3.2	Jenis Media Biofilter	49
2.2.4.3.3	Metoda Pemilihan Media	57
2.2.4.3.4	Kriteria Perencanaan IPAL Biofilter Anaerob-Aerob	59
BAB 3	PERALATAN STANDAR INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH DENGAN PROSES BIOFILTER ANAEROB AEROB	66
3.1	Pengolahan Air Limbah Fasilitas Kesehatan Dengan Proses Biofilter Anaerob Aerob	66
3.2	Unit Pengumpul Air Limbah	69
3.2.1	Jaringan Pengumpul Air Limbah	69
3.2.2	Ukuran Pipa Jaringan	71
3.2.3	Bak Kontrol	74

3.2.4	Bak Pengumpul Air Limbah	76
3.3	Bak Saringan (Screen Chamber)	78
3.3.1	Bar Screen	79
3.3.2	Kriteria Perencanaan Bar Screen	82
3.3.3	<i>Head Loss</i> di dalam <i>Bar Screen</i>	83
3.4	Penangkap (<i>Interceptor</i>)	84
3.4.1	Bak Pemisah Lemak (<i>Grease Removal</i>)	84
3.4.2	Penangkap Minyak	86
3.4.3	Penangkap Gips	87
3.4.4	Penangkap pada Laundry	87
3.5	Bak Ekualisasi	87
3.6	Pompa Air Limbah	91
3.7	Bak Pengendap Awal	94
3.8	Reaktor Biofilter Anaerob	98
3.9	Reaktor Biofilter Aerob	100
3.10	Bak Pengendap Akhir	102
3.11	Peralatan Pemasok Udara	103
3.11.1	Tipe Difuser dan <i>Aerator</i>	103
3.11.2	Tipe Blower Udara	105
3.12	Bak Biokontrol	109
3.13	Bak Klorinasi	110
3.14	Persyaratan Konstruksi IPAL Sistem Anaerob Aerob Biofilter	112
3.14.1	Rancangan Lokasi (Site Plan) Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Sistem Biofilter Anaerob Aerob	112
3.14.2	Konstruksi Bangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Sistem Anaerob Aerob Biofilter	113
3.14.2.1	Struktur Bangunan IPAL	113
3.14.2.2	Persyaratan Bahan	114
3.14.2.4	Sistem Pencahayaan	115
3.14.2.5	Sistem Kelistrikan	115
BAB 4	PETUNJUK OPERASIONAL DAN PERAWATAN IPAL	116
4.1	Pengoperasian IPAL	118
4.2	Pengoperasian Blower Udara	118
4.3	Pengoperasian Pompa Air Limbah Dan Pompa Sirkulasi	118
4.4	Perawatan IPAL	119
4.5	Penghentian Operasional IPAL	121
4.6	Permasalahan Yang Mungkin Timbul Dan Cara Penanganannya	122
4.7	Pelaksanaan K3 Bagi Pelaksana Di IPAL	123
4.8	Sistem Tanggap Darurat IPAL	125
BAB 5	MONITORING DAN EVALUASI	129
5.1	Monitoring	129
5.1.1	Monitoring Kualitas Air Limbah	129
5.1.2	Monitoring debit air limbah	132
5.1.3	Monitoring Efisiensi Kinerja Air Limbah	132
5.1.4	Monitoring Beban Cemar Air Limbah	133
5.2	Evaluasi	134
BAB 6	PENUTUP	135
	DAFTAR PUSTAKA	138

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Contoh Karakteristik Air Limbah Rumah Sakit di DKI Jakarta.	6
Tabel 1.2	Sumber, Karakteristik Dan Pengaruh Air Limbah	7
Tabel 2.1	Karakteristik Operasional Proses Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Biologis	13
Tabel 2.2	Parameter Perencanaan Proses Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Biologis Aerobik	15
Tabel 2.3	Klasifikasi Metanogen	27
Tabel 2.4	Metanogen Terisolasi Dan Subtratnya	31
Tabel 2.5	Perbandingan Luas Permukaan Spesifik Media Biofilter	50
Tabel 2.6	Contoh Spesifikasi Media Tipe Sarang Tawon	56
Tabel 2.7	Contoh Pembobotan Terhadap Beberapa Tipe Media Biofilter	58
Tabel 2.8	Kriteria Perencanaan Biofilter Anaerob-Aerob	62
Tabel 3.1	Unit Beban Alat Plambing Untuk Air Limbah	72
Tabel 3.2 :	Beban Maksimum Yang Diizinkan Untuk Perpipaan Air Buangan/Limbah (Dinyatakan Dalam Unit Beban Alat)	74
Tabel 3.3	Deskripsi Saringan Kasar (<i>Coarse Screen</i>)	81
Tabel 3.4	Kriteria Desain Untuk Bar Screen	82
Tabel 3.5	Kriteria Desain Bak Pengendapan Awal Atau Primer	95
Tabel 3.6	Kriteria Desain Bak Pengendap Awal (Primer) Dan Bak Pengendap Akhir (Sekunder)	96
Tabel 3.7	Jenis Jenis Difuser Dan Efisiensi Transfer Oksigen	107
Tabel 4.1	Cek List Pemeliharaan IPAL	120
Tabel 4.2	Permasalahan Yang Mungkin terjadi di dalam Proses Biofilter Anaerob-aerob serta Cara Penanganannya	122
Tabel. 5.1	Lembar Kontrol Swapantau IPAL	131

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Diagram Proses Pengelolaan Air Limbah Rumah Sakit	8
Gambar 2.1	Proses Pengolahan Air Limbah Secara Biologis Aerobik	12
Gambar 2.2	Mekanisme Proses Metabolisme Di Dalam Sistem Biofilm	17
Gambar 2.3	Beberapa Metoda Aerasi Untuk Proses Pengolahan Air Limbah Dengan Sistem Biofilter Tercelup	18
Gambar 2.4	Penguraian Anaerob Satu Tahap	20
Gambar 2.5	Penguraian Anaerob Dua Tahap	21
Gambar 2.6	Kelompok Bakteri Metabolik Yang Terlibat Dalam Penguraian Limbah Dalam Sistem Anaerobik	22
Gambar 2.7	Neraca Masa Pada Proses Penguraian Anaerobik (Fermentasi Methan)	26
Gambar 2.7	Proses Penguraian Senyawa Hidrokarbon Secara Anaerobik Menjadi Methan	28
Gambar 2.8	Proses Penguraian Senyawa Lemak Secara Anaerobik Menjadi Methan	29
Gambar 2.9	Proses Penguraian Senyawa Protein Secara Anaerobik	30
Gambar 2.10	Ilustrasi Dari Mekanisme Proses Penguraian Amoniak Di Dalam Biofilm	35
Gambar 2.11	Diagram Proses Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob	40
Gambar 2.12	Media Kerikil Atau Batu Pecah	52
Gambar 2.13	Beberapa Contoh Jenis Media "Random Packing"	54
Gambar 2.14	Bentuk Media Terstruktur Tipe Sarang Tawon (<i>Cross Flow</i>) Yang Banyak Digunakan Untuk Biofilter	56
Gambar 2.14	Skema Proses Pengolahan Air Limbah Dengan Sistem Biofilter Anaerob-Aerob	60
Gambar 2.15	Grafik Hubungan Antara Beban BOD (BOD Loading) Dengan Efisiensi Penghilangan Di Dalam Reaktor Biofilter Anaerob-Aerob	65
Gambar 3.1	Diagram Proses Pengolahan Air Limbah Fasilitas Kesehatan (Rumah Sakit) Dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob	67
Gambar 3.2	Contoh Konstruksi Bak Kontrol	76
Gambar 3.3	Salah Satu Contoh Tipikal Konstruksi Bak Pengumpul	77
Gambar 3.4	Photo Tipikal Bak Pengumpul Air Limbah	77
Gambar 3.5	Bak Pengumpul Air Limbah (Tampak dari Atas) dan Panel Kontrol Pompa	78
Gambar 3.5	Beberapa Jenis Penyaring Yang Sering Digunakan Dalam Sistem Pengolahan. (a). <i>intake bar rack</i> , (b) <i>traveling screen</i> , (c) <i>rotary drum screen</i> , (d) <i>microstrainer</i>	80
Gambar 3.6	Contoh Konstruksi Bak Pemisah Lemak Sederhana	85
Gambar 3.7	Foto Bak Pemisah Lemak	86
Gambar 3.8	Contoh Disain Bak Pemisah Lemak dan Bak Ekualisasi Dari bahan Plat Baja	88
Gambar 3.9	Contoh Bak Pemisah lemak dan Bak	89

	Ekualisasi Dari Bahan Plat Baja.	
Gambar 3.10	Contoh Disain Bak Pemisah Lemak dan Bak Ekualisasi Dari bahan Beton Bertulang	89
Gambar 3.11	Contoh Bak pemisah Lemak dan Bak Ekualisasi Dari Bahan Beton Bertulang	90
Gambar 3.12	Contoh Bak Ekualisasi Terbuka Dari Bahan Beton Bertulang	90
Gambar 3.13	Contoh Konstruksi Pompa Air Limbah Dengan Motor Di Bawah Tanah	91
Gambar 3.14	Contoh Konstruksi Pompa Air Limbah Dengan Motor Di Atas Tanah	91
Gambar 3.15	Contoh Pemasangan Pompa Celup Untuk IPAL.	92
Gambar 3.16	Jenis Pompa Celup Yang Sering Digunakan Untuk Pengolahan Air Limbah	93
Gambar 3.17	Contoh Pemasangan Pompa Centrifugal Untuk IPAL.	93
Gambar 3.18	Contoh Bak Pengendap Bentuk Bulat	97
Gambar 3.19	Contoh Bak Pengendap Bentuk Segi Empat	98
Gambar 3.20	Reaktor Biofilter Anaerob dari Bahan FRP yang dilapis dengan Beton Cor	99
Gambar 3.21	Reaktor Biofilter Dari Bahan FRP	99
Gambar 3.22	Reaktor Biofilter Anaerob Dari Bahan Beton Bertulang	99
Gambar 3.23	Contoh Filter Penghilang Abu Yang Dipasang Di Pipa Pembuangan Gas Reaktor Biofilter Anaerob	100
Gambar 3.24	IPAL Biofilter Anaerob-Aerob Yang Dibuat Dari Bahan Plat Baja Yang Dilapisi Dengan Bahan Anti Karat	100
Gambar 3.25	IPAL Biofilter Anaerob-Aerob Bentuk Dari Bahan Beton Bertulang	101
Gambar 3.26	Beberapa Contoh Tipe Aerator Dan Difuser	103
Gambar 3.27	Difuser Tipe Tabung	104
Gambar 3.28	Difuser Karet Gelembung Halus	105
Gambar 3.29	<i>Roots Blower</i>	106
Gambar 3.30	<i>Submersible Roots Blower</i>	106
Gambar 3.31	Blower Udara Tipe HIBLOW	107
Gambar 3.32	<i>Rotary Vane Blower</i>	109
Gambar 3.33	Salah Satu Contoh Bak Biokontrol	110
Gambar 3.34	Kurva Kebutuhan Dosis Untuk Reaksi Khlorin Dengan Amonia.	111
Gambar 3.35	Contoh Bak Khlorinasi	112
Gambar 4.1	Diagram Pompa Air Limbah Dengan Valve <i>By Pass</i>	117

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1	KEPUTUSAN MENTERI NEGARA LINGKUNGAN HIDUP REPUBLIK INDONESIA NOMOR : KEP-58/MENLH/12/1995 TENTANG BAKU MUTU LIMBAH CAIR BAGI KEGIATAN RUMAH SAKIT	142
LAMPIRAN 2	KEGIATAN PEMANTAUAN KUALITAS AIR LIMBAH	153
LAMPIRAN 3	CONTOH PROSEDUR IJIN PEMBUANGAN LIMBAH CAIR (IPLC) DI DKI JAKARTA	156
LAMPIRAN 4	CONTOH PERHITUNGAN DISAIN TEKNIS IPAL BIOFILTER ANAEROB-AEROB KAPASITAS 60 M ³ PER HARI	165
LAMPIRAN 5	TEKNOLOGI PENGOLAHAN AIR LIMBAH FASILITAS LAYANAN KESEHATAN SKALA KECIL	195

TIM PENYUSUN

Ketua

Ir. Azizah
Kepala Subdit. Bina Sarana dan Prasarana Kesehatan

Penanggungjawab

dr. Zamrud Ewita Aldy,
Sp.PK., M.M.
Direktur Bina Pelayanan Penunjang Medik Dan Sarana Kesehatan

Penyusun

- 1 Ir. Nusa Idaman Said, M.Eng
Peneliti Utama Pusat Teknologi Lingkungan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
- 2 Ir. Soekartono
Sekretaris Jenderal Persatuan Insinyur Indonesia
- 3 Ir. Mohammad Nasir, M.Si
RSUP Persahabatan Jakarta
- 4 Heri Purwanto, ST
Pusat Sarana, Prasarana dan Peralatan Kesehatan
- 5 Ir. Ridwan Subrata
Anggota Ikatan Ahli Teknik Penyehatan dan Lingkungan Indonesia
- 6 Widodo, SSi
Kepala Seksi Teknologi Laboratorium BBTCL - PPM Jakarta
- 7 Budi Setiawan, SKM
RSUP dr. Sardjito Yogyakarta
- 8 R.Duta Cahyawan, AmKL
RSUP dr. Soeradji Tirtonegoro Klaten
- 9 Laskariyanto, ST
RS Daerah Mardi Waluyo Blitar
- 10 Ir. Noverita Dewayani
Pusat Sarana, Prasarana dan Peralatan Kesehatan

Tim Kesekretariatan

- 1 Hendrik Permana,SKM
Subdit. Bina Sarana dan Prasarana Kesehatan
- 2 Romadona ST
Subdit. Bina Sarana dan Prasarana Kesehatan
- 3 Siti Ulfa Chanifah,ST
Subdit. Bina Sarana dan Prasarana Kesehatan
- 4 Djoko Supranoto
Subdit. Bina Sarana dan Prasarana Kesehatan
- 5 Sarino
Subdit. Bina Sarana dan Prasarana Kesehatan
- 6 I.Achjar Surjana
Subdit. Bina Sarana dan Prasarana Kesehatan
- 7 Muhammad Subekti
Subdit. Bina Sarana dan Prasarana Kesehatan
- 8 Ester Basselo A.,S.Pd
Subdit. Bina Sarana dan Prasarana Kesehatan

Kontributor

- 1 R. Aryo Seto Isa,ST
RSIB Harapan Kita
- 2 Ir. Thomas Patria
RS Kanker Dharmais
- 3 Ir. Sukirman
- 4 Ir. Farouk Mansyur

- | | | |
|---|---------------------------------------|---|
| 5 | DR.Ir.Setyo Sarwanto
Moersidik,DEA | Ketua Program Studi Ilmu
Lingkungan,
Program Pasca Sarjana
Universitas Indonesia |
| 6 | Dra. Yenni
Noviarti,M.Kes | Sub Direktorat Bina Pelayanan
Patologi dan Toksikologi |
| 7 | Ir.R.Wahanuddin,M.Me
d.Sc(PH) | Kepala Seksi Standarisasi
Pengamanan Limbah - P2PL |
| 8 | Zulfia Maharani, ST | RSUPN dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta |
| 9 | Maudy Dirgahayu, SKM | RSUP dr. Hasan Sadikin Bandung |

PENDAHULUAN

Pencemaran air limbah sebagai salah satu dampak pembangunan di berbagai bidang disamping memberikan manfaat bagi kesejahteraan rakyat. Selain itu peningkatan pencemaran lingkungan juga diakibatkan dari meningkatnya jumlah penduduk beserta aktifitasnya. Limbah yang berbentuk cair yang tidak dikelola dengan baik bisa menimbulkan bahaya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia serta makhluk hidup lainnya.

Upaya pencegahan timbulnya pencemaran lingkungan dan bahaya yang diakibatkannya serta yang akan menyebabkan kerugian sosial ekonomi, kesehatan dan lingkungan, maka harus ada pengelolaan secara khusus terhadap limbah tersebut agar bisa dihilangkan atau dikurangi sifat bahayanya. Selain itu, perlu diusahakan metode pengelolaan yang ramah lingkungan serta pengawasan yang benar dan cermat oleh berbagai pihak.

Fasilitas pelayanan kesehatan sebagai institusi yang bersifat sosial ekonomis mempunyai fungsi dan tugas untuk memberikan pelayanan kesehatan kepada masyarakat secara paripurna. Kegiatan pada fasilitas pelayanan kesehatan selain memberikan manfaat bagi masyarakat sekitarnya, juga menimbulkan dampak negatif berupa pencemaran akibat pembuangan limbahnya tanpa melalui proses pengolahan yang benar sesuai dengan prinsip-prinsip pengelolaan lingkungan secara menyeluruh.

Dengan semakin meningkatnya jumlah fasilitas pelayanan kesehatan maka mengakibatkan semakin meningkatnya potensi pencemaran lingkungan, karena kegiatan pembuangan limbah khususnya air limbah akan memberikan kontribusi terhadap penurunan tingkat kesehatan manusia.

Untuk menciptakan lingkungan yang sehat, nyaman dan berkelanjutan maka harus dilaksanakan upaya-upaya pengendalian pencemaran lingkungan pada fasilitas pelayanan kesehatan. Dengan dasar tersebut, maka fasilitas pelayanan kesehatan diwajibkan menyediakan instalasi pengolahan air limbah atau limbah cair.

Salah satu sistem IPAL yang telah banyak digunakan pada beberapa fasilitas pelayanan kesehatan adalah IPAL dengan sistem biofilter anaerob aerob. Untuk mengoptimalkan operasi dan pemeliharaan sistem pengolahan tersebut adalah dengan optimalisasi desain IPAL dan atau dengan peningkatan kapabilitas operator IPAL dengan memperdalam pemahaman tentang dasar proses pengolahan air limbah dengan IPAL sistem tersebut.

Untuk itu, diperlukan suatu pedoman teknis sebagai petunjuk pelaksanaan di dalam perencanaan, operasional dan pemeliharaan agar diperoleh hasil pengolahan yang optimal serta kinerja prosesnya sesuai dengan kriteria IPAL sistem tersebut.

BAB 1

KETENTUAN UMUM

1.1 Pengertian

1. Fasilitas kesehatan adalah tempat yang menyediakan layanan kesehatan secara medis bagi masyarakat meliputi: rumah sakit, puskesmas, klinik dan lain-lain.
2. Limbah cair adalah semua bahan buangan yang berbentuk cair yang kemungkinan mengandung mikroorganisme patogen, bahan kimia beracun, dan radioaktivitas (Kepmen LH No 58 Tahun 1995).

Limbah cair dari pelayanan kesehatan yang dimaksud di antaranya air buangan kamar mandi, WC, dapur, air bekas pencucian pakaian serta sumber buangan lainnya.
3. Penyelenggara fasilitas pelayanan kesehatan adalah pengembang, penyedia jasa pelayanan kesehatan.
4. Instalasi pengolahan air limbah fasilitas pelayanan kesehatan adalah bangunan air yang berfungsi untuk mengolah air buangan yang berasal dari kegiatan yang ada di fasilitas pelayanan kesehatan.
5. Baku mutu limbah cair rumah sakit adalah batas maksimal limbah cair yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan dari suatu kegiatan rumah sakit. Sistem jaringan saluran air limbah adalah bagian / sub sistem pengelolaan air limbah dimana air limbah dari tiap sumbernya terhubung melalui jaringan pengumpul dalam bentuk saluran tertutup, yang untuk kemudian disalurkan menuju instalasi pengolahan air limbah.
6. Persyaratan teknis instalasi pengolahan air limbah sistem anaerobik aerobik biofilter pada fasilitas pelayanan kesehatan meliputi perencanaan, tata bangunan, sistem operasional dan pemeliharaan pada instalasi pengolahan air limbah sistem anaerob aerob biofilter pada fasilitas pelayanan kesehatan.

1.2 Tujuan dan Sasaran

1.2.1 Tujuan

Tujuan pembuatan buku Pedoman ini adalah sebagai petunjuk penyediaan instalasi pengolahan air limbah sistem biofilter anaerobik aerobik meliputi perencanaan, perancangan, pelaksanaan, operasional, pemeliharannya.

1.2.1 Sasaran

Dengan Pedoman ini diharapkan :

- a Penyediaan instalasi pengolahan air limbah sistem biofilter anaerobik aerobik pada fasilitas pelayanan kesehatan yang sesuai dengan fungsi, persyaratan dan serasi serta selaras dengan lingkungannya.
- b Instalasi pengolahan air limbah sistem biofilter anaerobik aerobik pada fasilitas pelayanan kesehatan dapat beroperasi dengan baik, menghasilkan efluen yang memenuhi baku mutu.

1.3 Dasar Hukum

1. Undang-undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup;
2. Undang-undang No. 36 Tahun 2009 tentang Kesehatan;
3. Undang-undang No. 44 Tahun 2009 tentang Rumah Sakit;

4. Peraturan Pemerintah RI No.82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air;
5. Peraturan Pemerintah Nomor 20 Tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air;
6. Keputusan Presiden Republik Indonesia No. 42 tahun 2002 tentang Pedoman Pelaksanaan Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara;
7. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup RI Nomor 13 Tahun 2010 Tentang Upaya Pengelolaan dan Upaya pemantauan Lingkungan Hidup dan Surat Pernyataan Kesanggupan Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan Hidup;
8. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 58 Tahun 1995 Tentang : Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Rumah Sakit
9. Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 1204/Menkes/SK/X/2004 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup yang dibahas pada pedoman ini

1. Pengelolaan sumber-sumber air limbah yang ada di rumah sakit sebelum dialirkan ke instalasi pengolahan air limbah.
2. Konsep dasar dan perhitungan instalasi pengolahan air limbah dengan sistem anaerobik aerobik biofilter.
3. Peralatan dan perlengkapan yang digunakan untuk proses pengolahan air limbah dengan sistem anaerobik aerobik biofilter.
4. Pengoperasian dan pemeliharaan dalam pengolahan instalasi pengolahan air limbah dengan sistem anaerobik aerobik biofilter.

1.5 Pengelolaan Air Limbah Di Fasilitas Pelayanan Kesehatan

1.5.1 Jenis dan Sumber air limbah yang harus diolah

Air limbah adalah seluruh air buangan yang berasal dari hasil proses kegiatan sarana pelayanan kesehatan yang meliputi : air limbah domestik (air buangan kamar mandi, dapur, air bekas pencucian pakaian), air limbah klinis (air limbah yang berasal dari kegiatan klinis rumah sakit, misalnya air bekas cucian luka, cucian darah dll), air limbah laboratorium dan lainnya.

Prosentase terbesar dari air limbah adalah limbah domestik sedangkan sisanya adalah limbah yang terkontaminasi oleh *infectious agents* kultur mikroorganisme, darah, buangan pasien pengidap penyakit infeksi, dan lain-lain.

Air limbah yang berasal dari buangan domestik maupun buangan limbah cair klinis umumnya mengandung senyawa pencemar organik yang cukup tinggi dan dapat diolah dengan proses pengolahan secara biologis. Air limbah yang berasal dari laboratorium biasanya banyak mengandung logam berat yang apabila dialirkan ke dalam proses pengolahan secara biologis dapat mengganggu proses pengolahannya., sehingga perlu dilakukan pengolahan awal secara kimia-fisika, selanjutnya air olahannya dialirkan ke instalasi pengolahan air limbah.

Jenis air limbah yang ada di fasilitas pelayanan kesehatan dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- a . Air limbah domestik
- b . Air limbah klinis
- c . Air limbah laboratorium klinik dan kimia
- d . Air limbah radioaktif (tidak boleh masuk ke IPAL, harus mengikuti petunjuk dari BATAN)

Adapun sumber-sumber yang menghasilkan air limbah, antara lain :

- a. Unit Pelayanan Medis
 - Rawat Inap

- Rawat Jalan
- Rawat Darurat
- Rawat Intensif
 - Haemodialisa
 - Bedah Sentral
 - Rawat Isolasi
- b. Unit Penunjang Pelayanan Medis
 - Laboratorium
 - Radiologi
 - Farmasi
 - Sterilisasi
 - Kamar Jenasah
- c. Unit Penunjang Pelayanan Non Medis
 - Logistik
 - Cuci (Laundry)
 - Rekam Medis
 - Fasilitas umum : Masjid / Musholla dan Kantin
 - Kesekretariatan / administrasi
 - Dapur Gizi
 - Dll

1.5.2 Karakteristik Air Limbah

Dari hasil analisa kimia terhadap berberapa 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, amoniak 10,79 - 158,73 mg/l, deterjen (MBAS) 1,66 - 9,79 mg/l. Hal ini mungkin disebabkan karena sumber air limbah juga bervariasi sehingga faktor waktu dan metoda pengambilan contoh sangat mempengaruhi besarnya konsentrasi. Secara lengkap karakteristik air limbah rumah sakit dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Dari tabel tersebut terlihat bahwa air limbah rumah sakit jika tidak diolah sangat berpotensi untuk mencemari lingkungan. Selain pencemaran secara kimiawi, air limbah rumah sakit juga berpotensi untuk mencemari lingkungan secara bakteriologis.

Diagram proses pengelolaan limbah cair pada fasilitas pelayanan kesehatan secara umum dapat dilihat seperti pada Gambar 1.1. Di dalam pengelolaan limbah cair pada fasilitas pelayanan kesehatan, sebaiknya saluran air hujan dan saluran limbah dipisahkan agar proses pengolahan air limbah dapat berjalan secara efektif.

Tabel 1.1 : Contoh Karakteristik Air Limbah Rumah Sakit di DKI Jakarta.

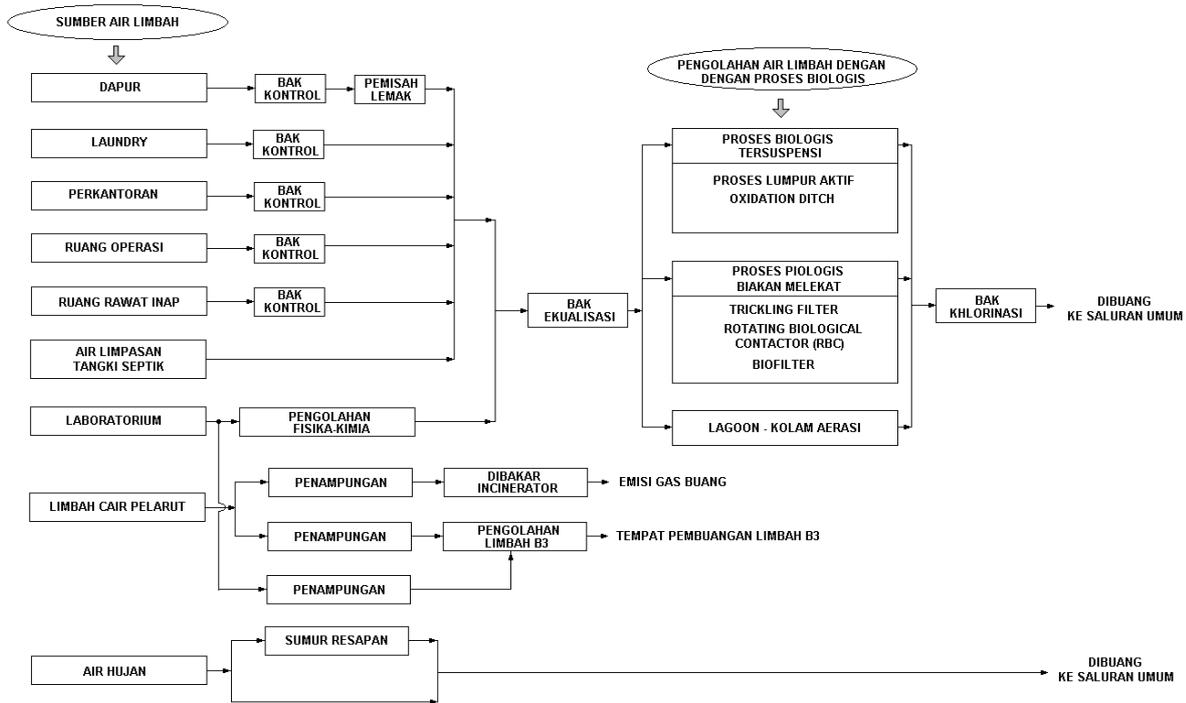
No	PARAMETER	MINIMUM	MAKSIMUM	RATA-RATA
1	BOD - mg/l	31,52	675,33	353,43
2	COD - mg/l	46,62	1183,4	615,01
3	Angka Permanganat (KMnO ₄) - mg/l	69,84	739,56	404,7
4	Ammoniak (NH ₃) - mg/l	10,79	158,73	84,76
5	Nitrit (NO ₂ ⁻) - mg/l	0,013	0,274	0,1435
6	Nitrat (NO ₃ ⁻) - mg/l	2,25	8,91	5,58
7	Klorida (Cl ⁻) - mg/l	29,74	103,73	66,735
8	Sulfat (SO ₄ ⁻) - mg/l	81,3	120,6	100,96
9	pH	4,92	8,99	6,96
10	Zat padat tersuspensi (SS) mg/l	27,5	211	119,25

11	Deterjen (MBAS) - mg/l	1,66	9,79	5,725
12	Minyal/lemak - mg/l	1	125	63
13	Cadmium (Cd) - mg/l	ttd	0,016	0,008
14	Timbal (Pb)	0,002	0,04	0,021
15	Tembaga (Cu) - mg/l	ttd	0,49	0,245
16	Besi (Fe) - mg/l	0,19	70	35,1
17	Warna - (Skala Pt-Co)	31	150	76
18	Phenol - mg/l	0,04	0,63	0,335

Sumber : PD PAL JAYA 1995.

Tabel 1.2 : Sumber, Karakteristik Dan Pengaruh Air Limbah.

Sumber air limbah	Material-material utama	Pengaruh pada konsentrasi tinggi pada penanganan biologis
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rawat Inap ▪ Rawat Jalan ▪ Rawat Darurat ▪ Rawat Intensif ▪ Haemodialisa ▪ Bedah Sentral ▪ Rawat Isolasi 	<ul style="list-style-type: none"> • Material-material organik • Ammonia • Bakteri patogen • Antiseptik • Antibiotik 	<ul style="list-style-type: none"> • Antiseptik : beracun untuk mikroorganisme • Antibiotik : beracun untuk mikroorganisme
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Laboratorium klinik dan kimia 	<ul style="list-style-type: none"> • Material solvent organik • Fosfor • Logam berat • pH fleksibel 	<ul style="list-style-type: none"> • Logam berat : beracun untuk mikroorganisme • pH fleksibel : beracun untuk mikroorganisme
Ruang dapur	<ul style="list-style-type: none"> • Material-material organik • Minyak / lemak • Fosfor • Pembersih ABS 	<ul style="list-style-type: none"> • Minyak / lemak : mengurangi perpindahan oksigen ke air • Pembersih ABS : terbentuk gelembung-gelembung dalam bioreaktor
Ruang cuci (laundry)	<ul style="list-style-type: none"> • Fosfor • pH 8 ~ 10 • ABS, N-heksana 	<ul style="list-style-type: none"> • pH 8 ~ 10 : beracun untuk mikroorganisme • ABS : terbentuk gelembung-gelembung dalam bioreaktor
Ruang Pemrosesan sinar X	Ag, logam berat lain	Ag : beracun untuk mikroorganisme
Ruang radio-isotop	Senyawa-senyawa radioaktif	Senyawa-senyawa radioaktif : beracun



Gambar 1.1 : Diagram Proses Pengelolaan Air Limbah Rumah Sakit.

Keterangan :

1. Pengolahan air limbah laboratorium dilakukan dengan cara dipisahkan dan ditampung, kemudian diolah secara kimia-fisika, selanjutnya air olahannya dialirkan bersama-sama dengan air limbah yang lain.
2. Air limbah yang berupa pelarut yang bersifat B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) antara lain chloroform, antiseptic, asam dll, obat/bahan kimia kadaluarsa dll dilakukan dengan cara pembakaran pada suhu tinggi dengan insinerator atau dapat dilakukan dengan cara dikirim ke tempat pengolahan limbah B3.
3. Khusus dari laundry sebaiknya diberikan pre treatment basin untuk mereduksi detergen dengan cara pembuatan bak *pretreatment* atau dengan *mixing* langsung dalam mesin cuci.
4. Air limbah dari ruang isolasi sebaiknya didesinfeksi terlebih dahulu dengan proses klorinasi

1.5.3 Baku Mutu Limbah Cair Rumah Sakit atau Fasilitas Pelayanan Kesehatan

Berdasarkan keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor : Kep-58/MENLH/12/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi kegiatan Rumah Sakit (Lampiran 1), maka setiap rumah sakit yang menghasilkan air limbah/limbah cair harus memenuhi peraturan tersebut.

BAB 2

TEKNOLOGI PENGOLAHAN AIR LIMBAH

2.1 Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Biologis

Di dalam proses pengolahan air limbah khususnya yang mengandung polutan senyawa organik, teknologi yang digunakan sebagian besar menggunakan aktifitas mikro-organisme untuk menguraikan senyawa polutan organik tersebut. Proses pengolahan air limbah dengan aktifitas mikro-organisme biasa disebut dengan "Proses Biologis".

Proses pengolahan air limbah secara biologis tersebut dapat dilakukan pada kondisi aerobik (dengan udara), kondisi anaerobik (tanpa udara) atau kombinasi anaerobik dan aerobik. Proses biologis aerobik biasanya digunakan untuk pengolahan air limbah dengan beban BOD yang tidak terlalu besar, sedangkan proses biologis anaerobik digunakan untuk pengolahan air limbah dengan beban BOD yang sangat tinggi.

Pengolahan air limbah secara biologis secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga yakni proses biologis dengan biakan tersuspensi (*suspended culture*), proses biologis dengan biakan melekat (*attached culture*) dan proses pengolahan dengan sistem lagoon atau kolam.

Proses biologis dengan biakan tersuspensi adalah sistem pengolahan dengan menggunakan aktifitas mikro-organisme untuk menguraikan senyawa polutan yang ada dalam air dan mikro-organisme yang digunakan dibiakkan secara tersuspensi di dalam suatu reaktor. Beberapa contoh proses pengolahan dengan sistem ini antara lain : proses lumpur aktif standar atau konvensional (*standard activated sludge*), *step aeration*, *contact stabilization*, *extended aeration*, *oxidation ditch* (kolam oksidasi sistem parit) dan lainnya.

Proses biologis dengan biakan melekat yakni proses pengolahan limbah dimana mikro-organisme yang digunakan dibiakkan pada suatu media sehingga mikroorganisme tersebut melekat pada permukaan media. Proses ini disebut juga dengan proses film mikrobiologis atau proses biofilm. Beberapa contoh teknologi pengolahan air limbah dengan cara ini antara lain : trickling filter, biofilter tercelup, reaktor kontak biologis putar (*rotating biological contactor*, *RBC*), *contact aeration/oxidation* (aerasi kontak) dan lainnya.

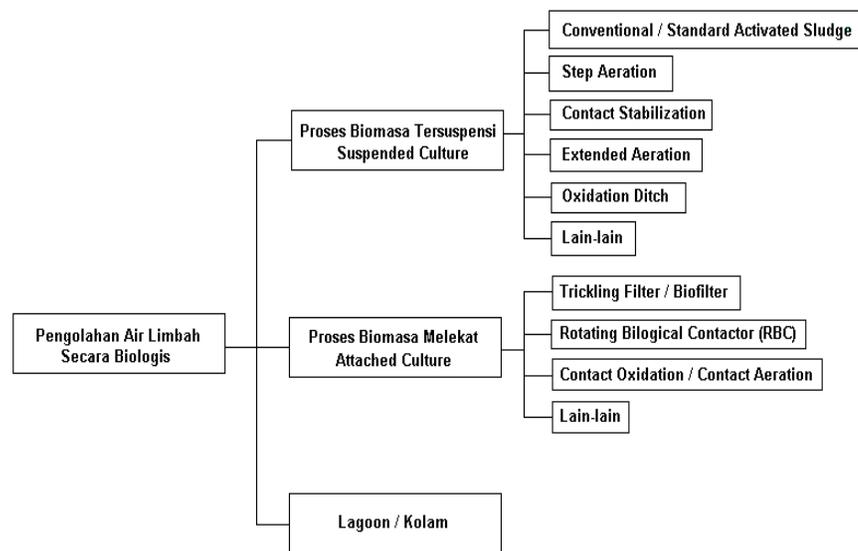
Proses pengolahan air limbah secara biologis dengan lagoon atau kolam adalah dengan menampung air limbah pada suatu kolam yang luas dengan waktu tinggal yang cukup lama sehingga dengan aktifitas mikro-organisme yang tumbuh secara alami, senyawa polutan yang ada dalam air akan terurai. Untuk mempercepat proses penguraian senyawa polutan atau memperpendek waktu tinggal dapat juga dilakukan proses aerasi. Salah satu contoh proses pengolahan air limbah dengan cara ini adalah kolam aerasi atau kolam stabilisasi (*stabilization pond*). Proses dengan sistem lagoon tersebut kadang-kadang dikategorikan sebagai proses biologis dengan biakan tersuspensi.

Secara garis besar klasifikasi proses pengolahan air limbah secara biologis dapat dilihat seperti pada Gambar 2.1, sedangkan karakteristik pengolahan, parameter perencanaan serta efisiensi pengolahan untuk tiap jenis proses dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Untuk memilih jenis teknologi atau proses yang akan digunakan untuk pengolahan air limbah, beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain : karakteristik air limbah, jumlah limbah serta standar kualitas air olahan yang diharapkan.

Pemilihan teknologi pengolahan air limbah harus mempertimbangkan beberapa hal yakni antara lain jumlah air limbah yang akan diolah, kualitas air hasil olahan yang diharapkan, kemudahan dalam hal pengelolaan, ketersediaan lahan dan sumber energi, serta biaya operasi dan perawatan diupayakan serendah mungkin

Setiap jenis teknologi pengolahan air limbah mempunyai keunggulan dan kekurangannya masing-masing, oleh karena itu dalam hal pemilihan jenis teknologi tersebut perlu diperhatikan aspek teknis, aspek ekonomis dan aspek lingkungan, serta sumber daya manusia yang akan mengelola fasilitas tersebut.



Gambar 2.1 : Proses Pengolahan Air Limbah Secara Biologis Aerobik.

Gesuidou Shissetsu Sekkei Shisin to Kaisetsu , Nihon Gesuidou Kyoukai, 1984

Tabel 2.1 : Karakteristik Operasional Proses Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Biologis.

JENIS PROSES		EFISIENSI PENGHILANGAN BOD (%)	KETERANGAN
P P R O S E S B I O M A S A T E R S U S P E N S I	Lumpur Aktif Standar	85 - 95	-
	Step Aeration	85 - 95	Digunakan untuk beban pengolahan yang besar.
	Modified Aeration	60 - 75	Untuk pengolahan dengan kualitas air olahan sedang.
	Contact Stabilization	80 - 90	Digunakan untuk pengolahan paket. Untuk mereduksi eksese lumpur.
	High Rate Aeration	75 - 90	Untuk pengolahan paket, bak aerasi dan bak pengendap akhir merupakan satu paket. Memerlukan area yang kecil.
	Pure Oxygen Process	85 - 95	Untuk pengolahan air limbah yang sulit diuraikan secara biologis. Luas area yang dibutuhkan kecil.
	Oxidation Ditch	75 - 95	Konstruksinya mudah, tetapi memerlukan area yang luas.

Lanjutan Tabel 2.1.

JENIS PROSES		EFISIENSI PENGHILANGAN BOD (%)	KETERANGAN
PROSES BIOMASA MELEKAT	Trickling Filter	80 - 95	Sering timbul lalat dan bau. Proses operasinya mudah.
	Rotating Biological Contactor	80 - 95	Konsumsi energi rendah, produksi lumpur kecil. Tidak memerlukan proses aerasi.
	Contact Aeration Process	80 - 95	Memungkinkan untuk penghilangan nitrogen dan phospor.
	Biofilter Unaerobic	65 - 85	memerlukan waktu tinggal yang lama, lumpur yang terjadi kecil.
LAGOON	Kolam stabilisasi	60 - 80	memerlukan waktu tinggal yang cukup lama, dan area yang dibutuhkan sangat luas

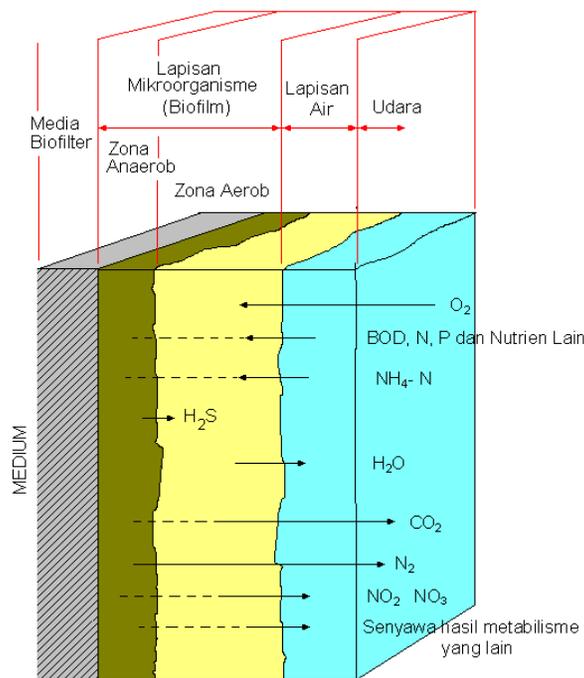
2.2 Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Biofilter Tercelup

2.2.1 Proses Biofilter

Proses pengolahan air limbah dengan proses biofilm atau biofilter tercelup dilakukan dengan cara mengalirkan air limbah ke dalam reaktor biologis yang di dalamnya diisi dengan media penyangga untuk pengebangbiakan mikroorganismenya dengan atau tanpa aerasi. Untuk proses anaerobik dilakukan tanpa pemberian udara atau oksigen. Posisi media biofilter tercelup di bawah permukaan air.

Mekanisme proses metabolisme di dalam sistem biofilm secara aerobik secara sederhana dapat diterangkan seperti pada Gambar 2.2. Gambar tersebut menunjukkan suatu sistem biofilm yang terdiri dari medium penyangga, lapisan biofilm yang melekat pada medium, lapisan alir limbah dan lapisan udara yang terletak diluar. Senyawa polutan yang ada di dalam air limbah, misalnya senyawa organik (BOD, COD), amonia, fosfor dan lainnya akan terdifusi ke dalam lapisan atau film biologis yang melekat pada permukaan medium. Pada saat yang bersamaan dengan menggunakan oksigen yang terlarut di dalam air limbah, senyawa polutan tersebut akan diuraikan oleh mikroorganismenya yang ada di dalam lapisan biofilm dan energi yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa. Sulpa oksigen pada lapisan biofilm dapat dilakukan dengan beberapa cara misalnya pada sistem RBC, yakni dengan cara kontak dengan udara luar pada sistem "Trickling Filter" dengan aliran balik udara. Sedangkan pada sistem biofilter tercelup, dengan menggunakan blower udara atau pompa sirkulasi.

Jika lapisan mikrobiologis cukup tebal, maka pada bagian luar lapisan mikrobiologis akan berada dalam kondisi aerobik sedangkan pada bagian dalam biofilm yang melekat pada medium akan berada dalam kondisi anaerobik. Pada kondisi anaerobik akan terbentuk gas H_2S , dan jika konsentrasi oksigen terlarut cukup besar, maka gas H_2S yang terbentuk tersebut akan diubah menjadi sulfat (SO_4) oleh bakteri sulfat yang ada di dalam biofilm.



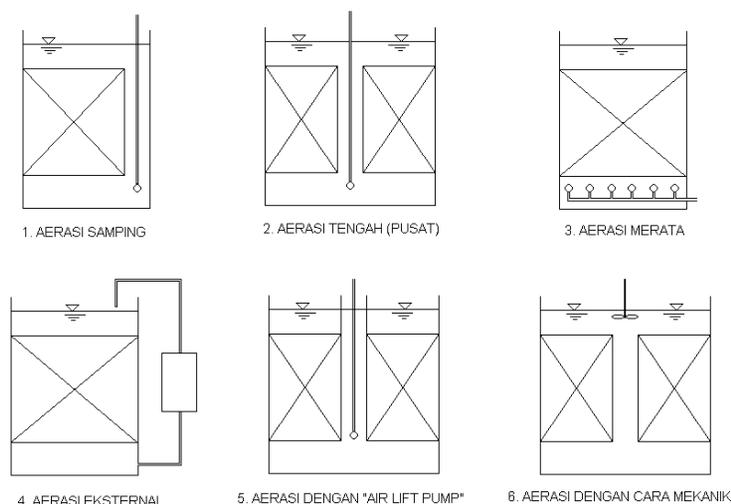
Gambar 2.2 : Mekanisme Proses Metabolisme Di Dalam Sistem Biofilm.
Disesuaikan dari Viessman and Hamer, (1985) , Hikami, (1992)

Selain itu, pada zona aerobik amonium akan diubah menjadi nitrit dan nitrat dan selanjutnya pada zona anaerobik nitrat yang terbentuk mengalami proses denitrifikasi menjadi gas nitrogen. Karena di dalam sistem biofilm terjadi kondisi anaerobik dan aerobik pada saat yang bersamaan, maka dengan sistem tersebut proses penghilangan senyawa nitrogen menjadi lebih mudah.

Posisi media biofilter tercelup di bawah permukaan air. Media biofilter yang digunakan secara umum dapat berupa bahan material organik atau bahan material anorganik. Untuk media biofilter dari bahan organik misalnya dalam bentuk tali, bentuk jaring, bentuk butiran tak teratur

(random packing), bentuk papan (*plate*), bentuk sarang tawon dan lain-lain. Sedangkan untuk media dari bahan anorganik misalnya batu pecah (*split*), kerikil, batu marmer, batu tembikar, batu bara (kokas) dan lainnya.

Di dalam proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilter tercelup aerobik, sistem suplai udara dapat dilakukan dengan berbagai cara, tetapi yang sering digunakan adalah seperti yang tertera pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 : Beberapa Metoda Aerasi Untuk Proses Pengolahan Air Limbah Dengan Sistem Biofilter Tercelup.

Hikami, Sumiko., "Shinseki rosou ni yoru mizu shouri gijutsu (Water Treatment with Submerged Filter)", Kougyou Yousui No.411, 12,1992.

Beberapa cara yang sering digunakan antara lain aerasi samping, aerasi tengah (pusat), aerasi merata seluruh permukaan, aerasi eksternal, aerasi dengan "air lift pump", dan aerasi dengan sistem mekanik. Masing-masing cara mempunyai keuntungan dan kekurangan. Sistem aerasi juga tergantung dari jenis media maupun efisiensi yang diharapkan. Penyerapan oksigen dapat terjadi disebabkan terutama karena aliran sirkulasi atau aliran putar kecuali pada sistem aerasi merata seluruh permukaan media.

Di dalam proses biofilter dengan sistem aerasi merata, lapisan mikroorganisme yang melekat pada permukaan media mudah terlepas, sehingga seringkali proses menjadi tidak stabil. Tetapi di dalam sistem aerasi melalui aliran putar, kemampuan penyerapan oksigen hampir sama dengan sistem aerasi dengan menggunakan difuser, oleh karena itu untuk penambahan jumlah beban yang besar sulit dilakukan. Berdasarkan hal tersebut diatas belakangan ini penggunaan sistem aerasi merata banyak dilakukan karena mempunyai kemampuan penyerapan oksigen yang besar.

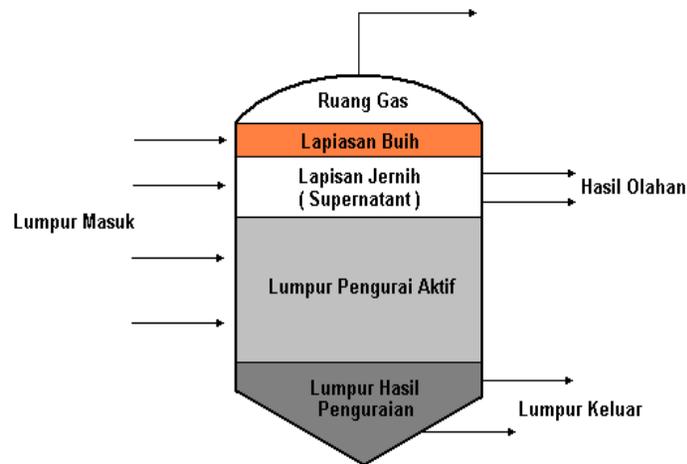
Jika kemampuan penyerapan oksigen besar maka dapat digunakan untuk mengolah air limbah dengan beban organik (*organic loading*) yang besar pula. Oleh karena itu diperlukan juga media biofilter yang dapat melekatkan mikroorganisme dalam jumlah yang besar. Biasanya untuk media biofilter dari bahan anaorganik, semakin kecil diameternya luas permukaannya semakin besar, sehingga jumlah mikroorganisme yang dapat dibiakkan juga menjadi besar pula. Jika sistem aliran dilakukan dari atas ke bawah (*down flow*) maka sedikit banyak terjadi efek filtrasi sehingga terjadi proses peumpukan lumpur organik pada bagian atas media yang dapat mengakibatkan penyumbatan. Oleh karena itu perlu proses pencucian secukupnya. Jika terjadi penyumbatan maka dapat terjadi aliran singkat (*short pass*) dan juga terjadi penurunan jumlah aliran sehingga kapasitas pengolahan dapat menurun secara drastis.

2.2.2 Proses Biofilter Anaerob

Secara garis besar penguraian senyawa organik secara anaerob dapat di bagi menjadi dua yakni penguraian satu tahap dan penguraian dua tahap.

2.2.2.1 Penguraian satu tahap

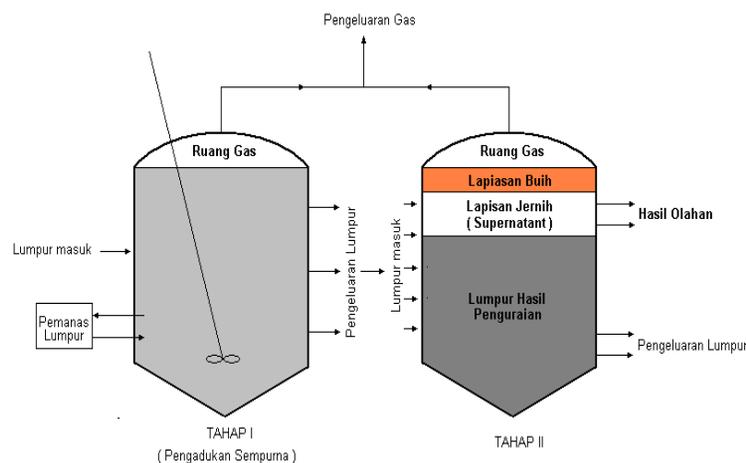
Penguraian anaerobik membutuhkan tangki fermentasi yang besar, memiliki pencampur mekanik yang besar, pemanasan, pengumpul gas, penambahan lumpur, dan keluaran supernatan (Metcalf dan Eddy, 1991). Penguraian lumpur dan pengendapan terjadi secara simultan dalam tangki. Stratifikasi lumpur dan membentuk lapisan berikut dari bawah ke atas : lumpur hasil penguraian, lumpur pengurai aktif, lapisan supernatan (jernih), lapisan buih (skum), dan ruang gas. Hal ini secara umum ditunjukkan seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 : Penguraian Anaerob Satu Tahap.

2.2.2.2 Penguraian dua tahap

Proses ini membutuhkan dua tangki pengurai (reaktor) yakni satu tangki berfungsi mencampurkan secara terus-menerus dan pemanasan untuk stabilisasi lumpur, sedangkan tangki yang satu lagi untuk pemekatan dan penyimpanan sebelum dibuang ke pembuangan. Proses ini dapat menguraikan senyawa organik dalam jumlah yang lebih besar dan lebih cepat. Secara sederhana proses penguraian anaerob dua tahap dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 : Penguraian Anaerob Dua Tahap.

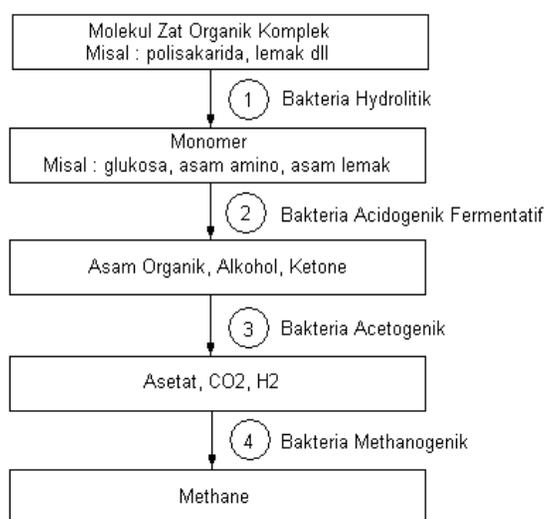
2.2.2.3 Proses Mikrobiologi Dalam Penguraian Anaerob

Kumpulan mikroorganisme, umumnya bakteri, terlibat dalam transformasi senyawa kompleks organik menjadi metan. Lebih jauh lagi, terdapat interaksi sinergis antara bermacam-macam kelompok bakteri yang berperan dalam penguraian limbah. Keseluruhan reaksi dapat digambarkan sebagai berikut (Polprasert, 1989) :



Meskipun beberapa jamur (fungi) dan protozoa dapat ditemukan dalam penguraian anaerobik, bakteri tetap merupakan mikroorganisme yang paling dominan bekerja didalam proses penguraian anaerobik. Sejumlah besar bakteri anaerobik dan fakultatif (seperti : *Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*) terlibat dalam proses hidrolisis dan fermentasi senyawa organik. Proses penguraian senyawa organik secara anaerobik secara garis besar ditunjukkan seperti pada Gambar 2.6.

Ada empat grup bakteri yang terlibat dalam transformasi material kompleks menjadi molekul yang sederhana seperti metan dan karbon dioksida. Kelompok bakteri ini bekerja secara sinergis (Archer dan Kirsop, 1991; Barnes dan Fitzgerald, 1987; Sahm, 1984; Sterritt dan Lester, 1988; Zeikus, 1980).



Gambar 2.6 : Kelompok Bakteri Metabolik Yang Terlibat Dalam Penguraian Limbah Dalam Sistem Anaerobik.

Kelompok 1: Bakteri Hidrolitik

Kelompok bakteri anaerobik memecah molekul organik kompleks (protein, cellulose, lignin, lipids) menjadi molekul monomer yang terlarut seperti asam amino, glukosa, asam lemak, dan gliserol. Molekul monomer ini dapat langsung dimanfaatkan oleh kelompok bakteri berikutnya. Hidrolisis molekul kompleks dikatalisasi oleh enzim ekstra seluler seperti selulase, protease, dan lipase. Walaupun demikian proses penguraian anaerobik sangat lambat dan menjadi terbatas dalam penguraian limbah sellulolitik yang mengandung lignin (Polprasert, 1989; Speece, 1983).

Kelompok 2 : Bakteri Asidogenik Fermentatif

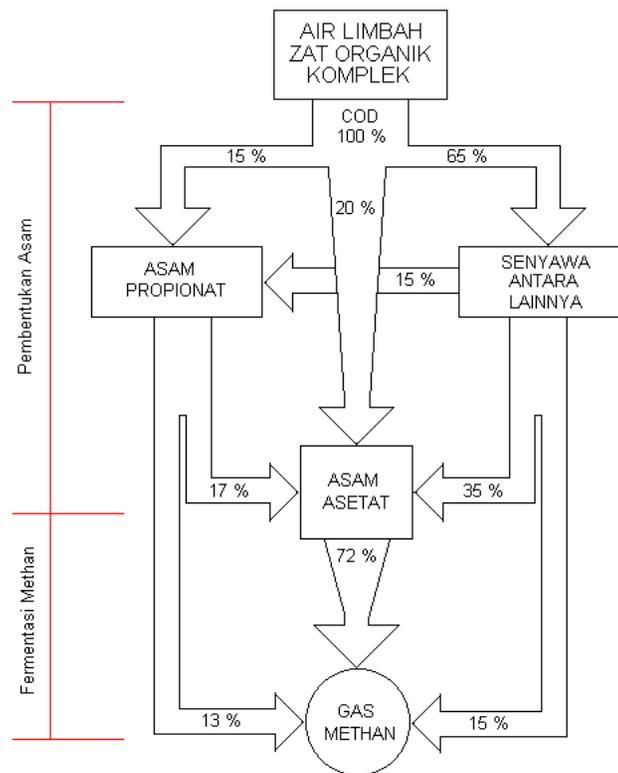
Bakteri asidogenik (pembentuk asam) seperti *Clostridium* merubah gula, asam amino, dan asam lemak menjadi asam organik (seperti asam asetat, propionik, formik, laktik, butirik, atau suksinik), alkohol dan keton (seperti etanol, metanol, gliserol, aseton), asetat, CO₂ dan H₂. Asetat adalah produk utama dalam fermentasi karbohidrat. Hasil dari fermentasi ini bervariasi tergantung jenis bakteri dan kondisi kultur seperti temperatur, pH, potensial redok.

Kelompok 3 : Bakteri Asetogenik

Bakteri asetogenik (bakteri yang memproduksi asetat dan H₂) seperti *Syntrobacter wolinii* dan *Syntrophomonas wolfei* (McInernay et al., 1981) merubah asam lemak (seperti asam propionat, asam butirat) dan alkohol menjadi asetat, hidrogen, dan karbon dioksida, yang digunakan oleh bakteri pembentuk metan (metanogen). Kelompok ini membutuhkan ikatan hidrogen rendah untuk merubah asam lemak; dan oleh karenanya diperlukan monitoring hidrogen yang ketat.

Dibawah kondisi tekanan H₂ parsial yang relatif tinggi, pembentukan asetat berkurang dan substrat dirubah menjadi asam propionat, asam butirat, dan etanol dari pada metan. Ada hubungan simbiotik antara bakteri asetogenik dan metanogen. Metanogen membantu menghasilkan ikatan hidrogen rendah yang dibutuhkan oleh bakteri asetogenik.

metanogen yang telah diisolasi dan masing-masing substratnya, ditunjukkan seperti pada Tabel 2.4.



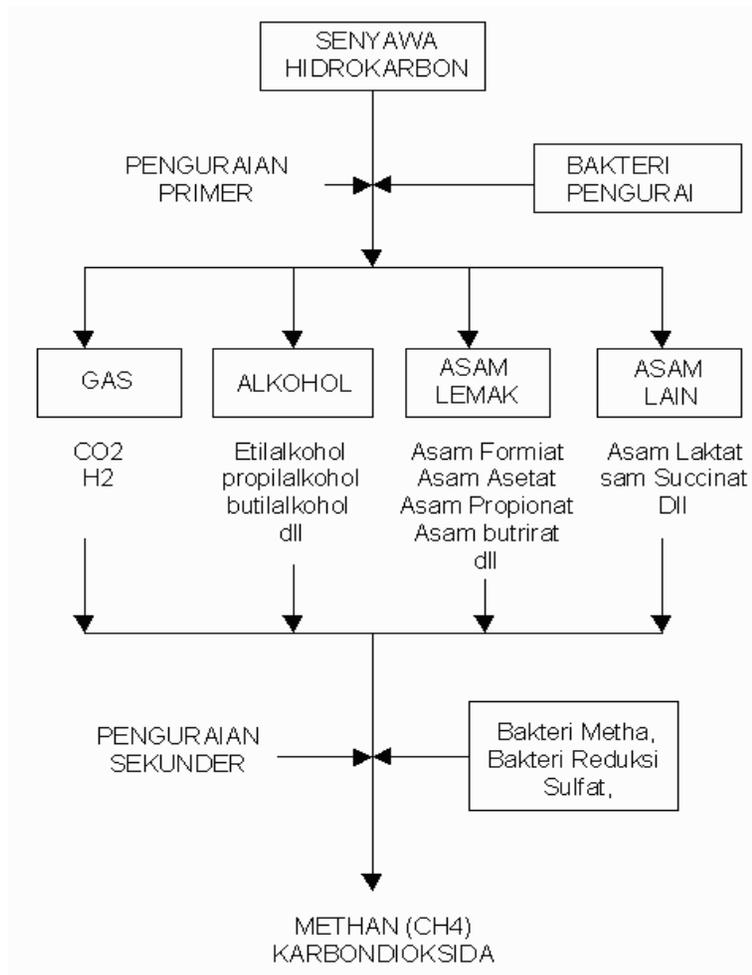
Gambar 2.7 : Neraca Masa Pada Proses Penguraian Anaerobik (Fermentasi Methan).

Proses penguraian senyawa hidrokarbon, lemak dan protein secara biologis menjadi metan di kondisi proses anaerobik secara umum ditunjukkan seperti pada Gambar 2.7, 2.8 dan 2.9.

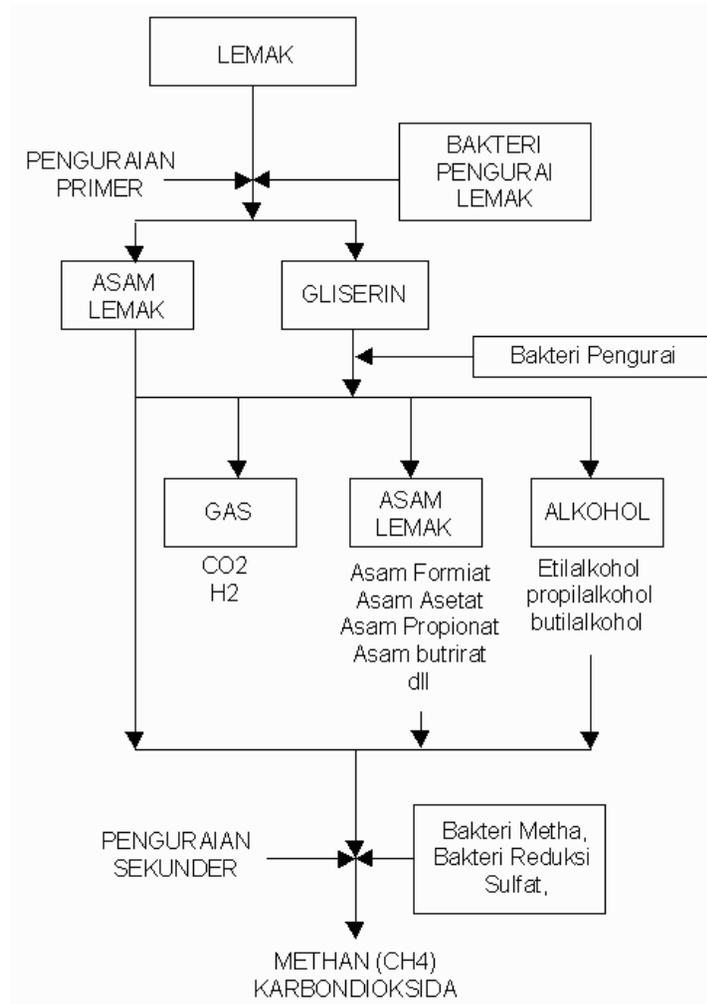
Tabel 2.3 : Klasifikasi Metanogen

Order	Famili	Genus	Spesies
Methanobacteriales	Methanobacteriaceae	Methanobacterium	<i>M. formicum</i> <i>M. bryanti</i> <i>M. thermoautotrophicum</i> <i>M. ruminantium</i>
		Methanobrevibacter	<i>M. arboriphilus</i> <i>M. smithii</i> <i>M. vannielli</i>
Methanococcales	Methanococcaceae	Methanococcus	<i>M. voltae</i>
		Methanomicrobium	<i>M. mobile</i>
methanomicrobiales	Methanomicrobiaceae	Methanogenium	<i>M. cariaci</i> <i>M. marisnigri</i> <i>M. hungatei</i>
		Methanospillum	<i>M. barkeri</i>
	Methanosarcinaceae	Methanosarcina	<i>M. mazei</i>

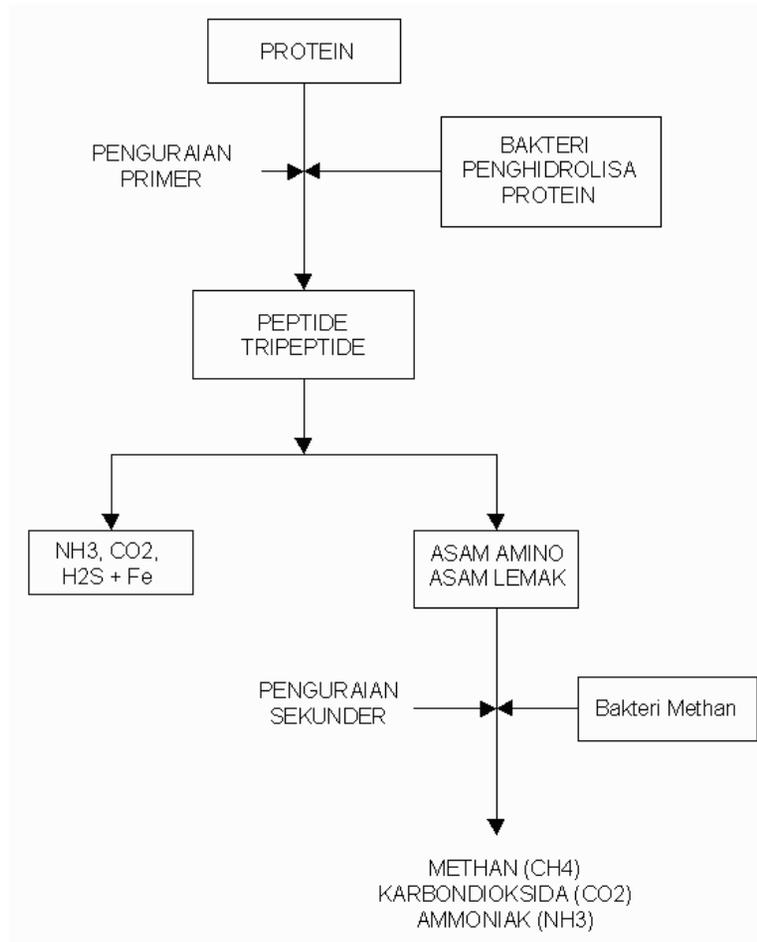
Dari : Balch et al., 1979.



Gambar 2.7 : Proses Penguraian Senyawa Hidrokarbon Secara Anaerobik Menjadi Methan.



Gambar 2.8 : Proses Penguraian Senyawa Lemak Secara Anaerobik Menjadi Methan.



Gambar 2.9 : Proses Penguraian Senyawa Protein Secara Anaerobik.

Tabel 2.4 : Metanogen Terisolasi Dan Subtratnya.

Bakteri	Subtrat
Methanobacterium bryantii	H ₂
M. formicum	H ₂ dan HCOOH
M. thermoautotrophicum	H ₂
M. alcaliphilum	H ₂
Methanobrevibacter arboriphilus	H ₂
M. ruminantium	H ₂ dan HCOOH
M. smithii	H ₂ dan HCOOH
Methanococcus vanniellii	H ₂ dan HCOOH
M. voltae	H ₂ dan HCOOH
M. deltae	H ₂ dan HCOOH
M. maripaludis	H ₂ dan HCOOH
M. jannaschii	H ₂
M. thermolithoautotrophicus	H ₂ dan HCOOH
M. frisius	
Methanomicrobium mobile	H ₂ dan HCOOH
M. paynteri	H ₂
Methanospirillum hungatei	H ₂ dan HCOOH
Methanoplanus limicola	H ₂ dan HCOOH

Respirasi



Beberapa faktor yang dapat memengaruhi reaksi penghilangan substrat organik di dalam air secara biologis antara lain yakni :

Beban Organik (*Organic Loading*)

Beban organik didefinisikan sebagai jumlah senyawa organik di dalam air limbah yang dihilangkan atau didegradasi di dalam biofilter per unit volume per hari. Beban organik yang sangat tinggi dapat berpengaruh terhadap pertumbuhan mikroorganisme, dan pada konsentrasi tertentu dapat mengakibatkan kematian mikroorganisme.

Beban Hidrolis (*Hydrolic Loading*)

Beban hidrolis dinyatakan sebagai volume air buangan yang dapat diolah per-satuan waktu per-satuan luas permukaan media. Beban hidrolis yang tinggi dapat menyebabkan pengelupasan lapisan biofilm yang menempel pada media, sehingga efisiensi pengolahan menjadi turun.

Temperatur

Jenis mikroorganisme yang sesuai dengan kondisi temperatur akan menjadi dominan dalam sistem. Temperatur dalam pengolahan air buangan secara aerob bukan merupakan faktor yang dikondisikan karena temperatur sangat dipengaruhi oleh iklim yang ada.

Keasaman Air (pH)

Setiap jenis bakteri membutuhkan pH tertentu untuk dapat tumbuh dengan baik. Pada umumnya semua bakteri mempunyai kondisi pertumbuhan antara 4 – 9,5 dengan pH optimum 6,5 – 7,5. Secara keseluruhan Reynold (1985) menyatakan bahwa mikroorganisme perlu pH 6,5 – 9. Bakteri akan tumbuh dengan baik pada kondisi sedikit basa yaitu berkisar antara 7 – 8 (Flathman,1994).

Kebutuhan Oksigen (DO)

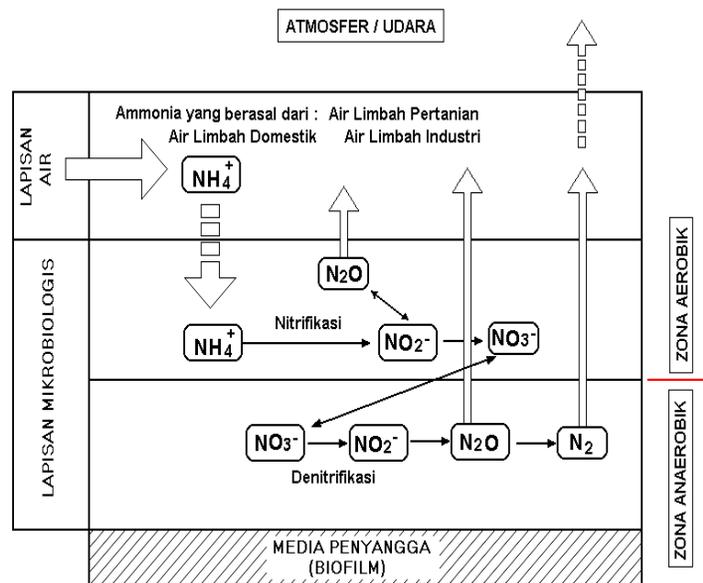
Flathman (1994) menyatakan bahwa oksigen terlarut dalam reaktor melekat diam terendam harus dijaga antara 2 – 4 mg/l. Oksigen berperan dalam proses oksidasi, sintesa dan respirasi dari sel.

Logam berat

Logam-logam berat seperti Hg, Ag, Cu, Au, Zn, Li dan Pb walaupun dalam konsentrasi yang rendah akan bersifat racun terhadap mikroorganisme. Daya bunuh logam berat pada kadar rendah ini disebut daya oligodinamik.

2.2.3.2 Penghilangan Amoniak

Di dalam proses biofiltrasi, senyawa amoniak akan diubah menjadi nitrit, kemudian senyawa nitrit akan diubah menjadi nitrat. Mekanisme proses penguraian senyawa amoniak yang terjadi pada lapisan biofilm secara sederhana dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.10.



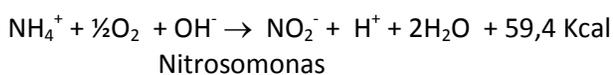
Gambar 2.10 : Ilustrasi Dari Mekanisme Proses Penguraian Amoniak Di Dalam Biofilm.

Lapisan terluar media penyangga adalah lapisan tipis zona aerobik, senyawa amoniak dioksidasi dan diubah ke dalam bentuk nitrit. Sebagian senyawa nitrit ada yang diubah menjadi gas dinitrogen oksida (N_2O) dan ada yang diubah menjadi nitrat. Proses yang terjadi tersebut dinamakan proses nitrifikasi.

Semakin lama, lapisan biofilm yang tumbuh pada media penyangga tersebut semakin tebal sehingga menyebabkan oksigen tidak dapat masuk ke dalam lapisan biofilm yang mengakibatkan terbentuknya zona anaerobik. Pada zona anaerobik ini, senyawa nitrat yang terbentuk diubah ke dalam bentuk nitrit yang kemudian dilepaskan menjadi gas nitrogen (N_2). Proses demikian tersebut dinamakan proses denitrifikasi.

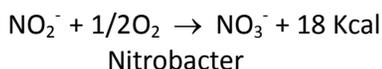
Proses nitrifikasi menurut Grady & Lim (1980) didefinisikan sebagai konversi nitrogen ammonium (NH_4-N) menjadi nitrit (NO_2-N) yang kemudian menjadi nitrat (NO_3-N) yang dilakukan oleh bakteri autotropik dan heterotropik. Proses nitrifikasi ini dapat dilihat dalam dua tahap yaitu :

Tahap nitritasi, merupakan tahap oksidasi ion ammonium (NH_4^+) menjadi ion nitrit (NO_2^-) yang dilaksanakan oleh bakteri *nitrosomonas* menurut reaksi berikut :



Reaksi ini memerlukan 3,43 gr O_2 untuk mengoksidasi 1 gr nitrogen menjadi nitrit.

Tahap nittrasi, merupakan tahap oksidasi ion nitrit menjadi ion nitrat (NO_3^-) yang dilaksanakan oleh bakteri *nitrobacter* menurut reaksi berikut :



Reaksi ini memerlukan 1,14 gr O_2 untuk mengoksidasi 1 gr nitrogen menjadi nitrat. Secara keseluruhan proses nitrifikasi dapat dilihat dari persamaan berikut :



Kedua reaksi di atas disebut dengan reaksi eksotermik (reaksi yang menghasilkan energi). Jika kedua jenis bakteri tersebut ada, baik di tanah maupun di perairan, maka konsentrasi nitrit akan menjadi berkurang karena nitrit dibentuk oleh bakteri *nitrosomonas* yang akan dioksidasi oleh bakteri *nitrobacter* menjadi nitrat.

Kedua bakteri ini dikenal sebagai bakteri autotropik yaitu bakteri yang dapat mensuplai karbon dan nitrogen dari bahan-bahan anorganik dengan sendirinya. Bakteri ini menggunakan energi dari proses nitrifikasi untuk membentuk sel sintesa yang baru. Sedangkan bakteri heterotropik merupakan bakteri yang membutuhkan bahan-bahan organik untuk membangun

protoplasma. Walaupun bakteri nitrifikasi autotropik keberadaannya di alam lebih banyak, proses nitrifikasi dapat juga dilakukan oleh bakteri jenis heterotropik (*Arthobacter*) dan jamur (*Aspergillus*) (Verstraete and Alexander, 1972).

Disamping itu dengan oksigen yang ada, maka senyawa N-NH₄ yang ada diperairan akan dioksidasi menjadi nitrat. Tetapi mengingat kebutuhan O₂ yang cukup besar, maka akan terjadi penurunan oksigen di dalam perairan tersebut sehingga akan terjadi kondisi septik.

Pada proses pengolahan senyawa NH₄-N secara biologis kebutuhan O₂ cukup besar, sehingga kebutuhan O₂ yang tinggi dapat dipenuhi dengan cara memperbesar transfer O₂ ke dalam instalasi pengolahan. Pada reaktor lekat ini, transfer O₂ yang besar dapat diperoleh dengan cara menginjeksikan udara ke dalam reaktor. Dengan adanya injeksi udara diharapkan kontak antara gelembung udara dan air yang akan diolah dapat terjadi.

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses nitrifikasi dalam pengolahan air adalah :

Konsentrasi Oksigen Terlarut (*Dissolved Oksigen*)

Proses nitrifikasi merupakan proses aerob, maka keberadaan oksigen sangat penting dalam proses ini. Benefield & Randal (1980) mengatakan bahwa proses nitrifikasi akan berjalan dengan baik jika DO minimum > 1 mg/l. Bitton (1994) mengatakan agar proses nitrifikasi dapat berjalan dengan baik maka konsentrasi oksigen terlarut di dalam air tidak boleh kurang dari 2 mg/l.

Temperatur

Kecepatan pertumbuhan bakteri nitrifikasi dipengaruhi oleh temperatur antara 8 – 30°C, sedangkan temperatur optimumnya sekitar 30°C (Hitdlebaugh and Miler, 1981).

pH

Pada proses biologi, nitrifikasi dipengaruhi oleh pH. pH optimum untuk bakteri *nitrosomonas* dan *nitrobacter* antara 7,5 – 8,5 (U.S. EPA, 1975). Proses ini akan terhenti pada pH dibawah 6,0 (Painter, 1970; Painter and Loveless, 1983). Alkalinitas air akan berkurang sebagai akibat oksidasi amoniak oleh bakteri nitrifikasi. Secara teori alkalinitas akan berkurang 7,14 mg/l sebagai CaCO₃ setiap 1 mg/l NH₄⁺ (amoniak) yang dioksidasi (U.S. EPA, 1975). Oleh karena itu untuk proses nitrifikasi alkalinitas air harus cukup untuk menyeimbangkan keasaman yang dihasilkan oleh proses nitrifikasi.

Rasio Organik dan Total Nitrogen (BOD/T-N)

Fraksi bakteri nitrifikasi di dalam biofilm akan berkurang sebanding dengan meningkatnya rasio organik terhadap total nitrogen di dal air (BOD/T-N) Di dalam proses gabungan oksidasi karbon dan nitrifikasi, proses nitrifikasi akan berjalan dengan baik dengan rasio BOD/T-N lebih besar (Metcalf and Eddy, 1991).

2.2.4 Proses Biofilter Anaerob Aerob

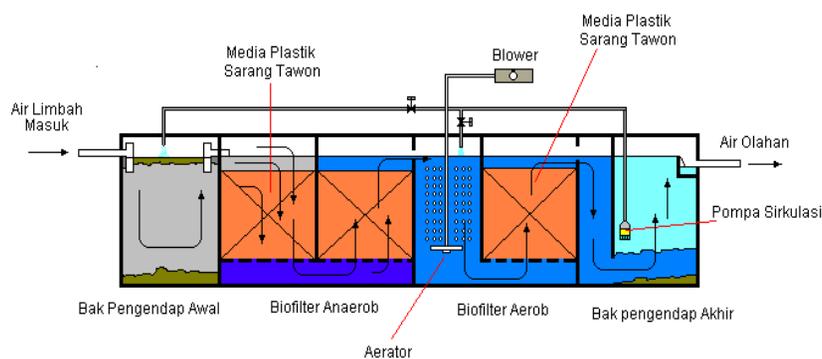
Pengolahan air limbah dengan proses Biofilter Anaerob-Aerob adalah proses pengolahan air limbah dengan cara menggabungkan proses biofilter anaerob dan proses biofilter anaerob. Dengan menggunakan proses biofilter anaerob, polutan organik yang ada di dalam air limbah akan terurai menjadi gas karbon dioksida dan metan tanpa menggunakan energi (blower udara), tetapi amoniak dan gas hidrogen sulfida (H₂S) tidak hilang. Oleh karena itu jika hanya menggunakan proses biofilter anaerob saja hanya dapat menurunkan polutan organik (BOD, COD) dan padatan tersuspensi (TSS). Agar supaya hasil air olahan dapat memenuhi baku mutu maka air olahan dari proses biofilter anaerob selanjutnya diproses menggunakan biofilter aerob. Dengan proses biofilter aerob polutan organik yang masih tersisa akan terurai menjadi gas karbon dioksida (CO₂) dan air (H₂O), amoniak akan teroksidasi menjadi nitrit selanjutnya akan menjadi nitrat, sedangkan gas H₂S akan diubah menjadi sulfat.

Dengan menggunakan proses biofilter anaerob-aerob maka akan dapat dihasilkan air olahan dengan kualitas yang baik dengan menggunakan konsumsi energi yang lebih rendah.

2.2.4.1 Pengolahan Air Limbah Proses Biofilter Anaerob Aerob

Seluruh air limbah dialirkan masuk ke bak pengumpul atau bak ekualisasi, selanjutnya dari bak ekualisasi air limbah dipompa ke bak pengendap awal, untuk mengendapkan partikel lumpur, pasir dan kotoran organik tersuspensi. Selain sebagai bak pengendapan, juga berfungsi sebagai bak pengontrol aliran, serta bak pengurai senyawa organik yang berbentuk padatan, pengurai lumpur (*sludge digestion*) dan penampung lumpur. Skema proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilter anaerob-aerob dapat dilihat pada Gambar 2.11.

Air limpasan dari bak pengendap awal selanjutnya dialirkan ke reaktor biofilter anaerob. Di dalam reaktor biofilter anaerob tersebut diisi dengan media dari bahan plastik tipe sarang tawon. Reaktor biofilter anaerob terdiri dari dua buah ruangan. Penguraian zat-zat organik yang ada dalam air limbah dilakukan oleh bakteri anaerobik atau fakultatif aerobik. Setelah beberapa hari operasi, pada permukaan media filter akan tumbuh lapisan film mikro-organisme. Mikro-organisme inilah yang akan menguraikan zat organik yang belum sempat terurai pada bak pengendap.



Gambar 2.11 : Diagram Proses Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob .

Air limpasan dari reaktor biofilter anaerob dialirkan ke reaktor biofilter aerob. Di dalam reaktor biofilter aerob ini diisi dengan media dari bahan plastik tipe sarang tawon, sambil diberikan aerasi atau dihembus dengan udara sehingga mikro organisme yang ada akan menguraikan zat organik yang ada dalam air limbah serta tumbuh dan menempel pada permukaan media. Dengan demikian air limbah akan kontak dengan mikro-organisme yang tersuspensi dalam air maupun yang menempel pada permukaan media yang mana hal tersebut dapat meningkatkan efisiensi penguraian zat organik, deterjen serta mempercepat proses nitrifikasi, sehingga efisiensi penghilangan amonia menjadi lebih besar. Proses ini sering di namakan Aerasi Kontak (*Contact Aeration*).

Dari bak aerasi, air dialirkan ke bak pengendap akhir. Di dalam bak pengendap akhir sebagian air limbah dipompa kembali ke bagian inlet bak aerasi dengan pompa sirkulasi lumpur.

Sedangkan air limpasan (*over flow*) dialirkan ke bak biokontrol dan selanjutnya dialirkan ke bak kontaklor untuk proses disinfeksi. Di dalam bak kontaklor ini air limbah dikontakkan dengan senyawa khlor untuk membunuh mikro-organisme patogen. Air olahan/efluen, yakni air yang keluar setelah proses khlorinasi dapat langsung dibuang ke sungai atau saluran umum. Dengan kombinasi proses anaerob dan aerob tersebut selain dapat menurunkan zat organik (BOD, COD), amonia, deterjen, padatan tersuspensi (SS), phospat dan lainnya.

2.2.4.2 Keunggulan Proses dengan Biofilter “Anaerob-Aerob”

Proses pengolahan air limbah dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob mempunyai beberapa keunggulan antara lain yakni :

- Adanya air buangan yang mengalir melalui media kerikil yang terdapat pada biofilter mengakibatkan timbulnya lapisan lendir yang menyelimuti media atau yang disebut juga *biological film*. Air limbah yang masih mengandung zat organik yang belum teruraikan pada

bak pengendap bila melalui lapisan lendir ini akan mengalami proses penguraian secara biologis. Efisiensi biofilter tergantung dari luas kontak antara air limbah dengan mikroorganisme yang menempel pada permukaan media filter tersebut. Makin luas bidang kontakannya maka efisiensi penurunan konsentrasi zat organik (BOD) makin besar. Selain menghilangkan atau mengurangi konsentrasi BOD dan COD, cara ini juga dapat mengurangi konsentrasi padatan tersuspensi atau suspended solids (SS), deterjen (MBAS), ammonium dan posphor.

- Biofilter juga berfungsi sebagai media penyaring air limbah yang melalui media ini. Sebagai akibatnya, air limbah yang mengandung suspended solids dan bakteri E.coli setelah melalui filter ini akan berkurang konsentrasinya. Efisiensi penyaringan akan sangat besar karena dengan adanya *biofilter up flow* yakni penyaringan dengan sistem aliran dari bawah ke atas akan mengurangi kecepatan partikel yang terdapat pada air buangan dan partikel yang tidak terbawa aliran ke atas dan akan mengendap di dasar bak filter. Sistem biofilter anaerob-aerob ini sangat sederhana, operasinya mudah dan tanpa memakai bahan kimia serta tanpa membutuhkan banyak energi. Proses ini cocok digunakan untuk mengolah air limbah dengan kapasitas yang tidak terlalu besar
- Dengan kombinasi proses "Anaerob-Aerob", efisiensi penghilangan senyawa fosfor menjadi lebih besar bila dibandingkan dengan proses anaerob atau proses aerob saja. Selama berada pada kondisi anaerob, senyawa fosfor anorganik yang ada dalam sel-sel mikroorganisme akan keluar sebagai akibat hidrolisa senyawa fosfor. Sedangkan energi yang dihasilkan digunakan untuk menyerap BOD (senyawa organik) yang ada di dalam air limbah. Selama berada pada kondisi aerob, senyawa fosfor terlarut akan diserap oleh bakteri/mikroorganisme dan akan sintesa menjadi polyphosphat dengan menggunakan energi yang dihasilkan oleh proses oksidasi senyawa organik (BOD). Dengan demikian kombinasi proses anaerob-aerob dapat menghilangkan BOD maupun fosfor dengan baik. Proses ini dapat digunakan untuk pengolahan air limbah dengan beban organik yang cukup besar.

Beberapa keunggulan proses pengolahan air limbah dengan biofilter anaerob-aerob antara lain yakni :

- Pengelolaannya sangat mudah.
- Tidak perlu lahan yang luas.
- Biaya operasinya rendah.
- Dibandingkan dengan proses lumpur aktif, Lumpur yang dihasilkan relatif sedikit.
- Dapat menghilangkan nitrogen dan fosfor yang dapat menyebabkan eutropikasi.
- Suplai udara untuk aerasi relatif kecil.
- Dapat digunakan untuk air limbah dengan beban BOD yang cukup besar.
- Dapat menghilangkan padatan tersuspensi (SS) dengan baik.

2.2.4.3 Kriteria Perencanaan Biofilter Anaerob Aerob

2.2.4.3.1 Kriteria Pemilihan Media Biofilter

Media biofilter adalah merupakan bagian yang terpenting dari biofilter, oleh karena itu pemilihan media harus dilakukan dengan seksama disesuaikan dengan kondisi proses serta jenis air limbah yang akan diolah.

Untuk media biofilter dari bahan organik banyak yang dibuat dengan cara dicetak dari bahan tahan karat dan ringan misalnya PVC dan lainnya, dengan luas permukaan spesifik yang besar dan volume rongga (porositas) yang besar, sehingga dapat melekatkan mikroorganisme dalam jumlah yang besar dengan resiko kebuntuan yang sangat kecil. Dengan demikian memungkinkan untuk pengolahan air limbah dengan beban konsentrasi yang tinggi serta efisiensi pengolahan yang cukup besar. Di dalam prakteknya ada beberapa kriteria media biofilter ideal yang perlu diperhatikan antara lain yakni :

1) Mempunyai Luas Permukaan Spesifik Besar

Luas permukaan spesifik adalah ukuran seberapa besar luas area yang aktif secara biologis tiap satuan volume media. Satuan pengukuran adalah meter persegi per meter kubik media. Luas permukaan spesifik sangat bervariasi namun secara umum sebagian besar media biofilter mempunyai nilai antara 30 sampai dengan 250 sq.ft/cu.ft atau 100 hingga 820 m²/m³.

Satu hal yang penting adalah membedakan antara total luas permukaan teoritis dengan luas permukaan yang tersedia sebagai substrate untuk pertumbuhan mikroorganisme. Luas permukaan yang terdapat pada pori-pori yang halus tidak selalu dapat membuat mikroorganisme hidup. Pada saat biofilter sudah stabil/matang, biomasa bakteri akan bertambah secara stabil dan lapisan bakteri yang menutupi permukaan media menjadi tebal. Selama organisme yang berada pada bagian dalam lapisan hanya mendapat makanan dan oksigen secara difusi, maka bakteri ini memperoleh makanan dan oksigen semakin lama semakin sedikit sejalan dengan bertambah tebalnya lapisan. Secara umum hanya bakteri yang berada dilapisan paling luar yang bekerja secara maksimal.

Apabila lapisan bakteria sudah cukup tebal, maka bagian dalam lapisan menjadi anaerobik. Jika hal ini terjadi, lapisan akan kehilangan gaya adhesi terhadap substrat dan kemudian lepas. Apabila bakteri yang mati terdapat dalam celah kecil, maka tidak dapat lepas dan tetap berada dalam biofilter. Hal ini akan menambah beban organik (BOD) dan amoniak dalam biofilter.

Luas permukaan total yang tersedia untuk pertumbuhan bakteri merupakan indikator dari kapasitas biofilter untuk menghilangkan polutan. Luas permukaan spesifik merupakan variabel penting yang mempengaruhi biaya reaktor biofilter dan mekanisme penunjangnya. Apabila media tertentu A mempunyai luas permukaan per unit volume dua kali lipat dari media B, maka media B memerlukan volume reaktor dua kali lebih besar untuk dapat melakukan tugas yang sama yang dilakukan media A. Ditinjau dari sudut ekonomi maka lebih baik menggunakan reaktor yang lebih kecil. Jadi secara umum makin besar luas permukaan per satuan volume media maka jumlah mikroorganisme yang tumbuh dan menempel pada permukaan media makin banyak sehingga efisiensi pengolahan menjadi lebih besar, selain itu volume reaktor yang diperlukan menjadi lebih kecil sehingga biaya reaktor juga lebih kecil.

2) Mempunyai Fraksi Volume Rongga Tinggi

Fraksi volume rongga adalah prosentasi ruang atau volume terbuka dalam media. Dengan kata lain, fraksi volume rongga adalah ruang yang tidak tertutup oleh media itu sendiri. Fraksi volume rongga bervariasi dari 15 % sampai 98 %. Fraksi volume rongga tinggi akan membuat aliran air atau udara bebas tidak terhalang. Untuk biofilter dengan kapasitas yang besar umumnya menggunakan media dengan fraksi volume rongga yang besar yakni 90 % atau lebih.

3) Diameter Celah Bebas Besar (*Large free passage diameter*)

Cara terbaik untuk menjelaskan pengertian diameter celah bebas adalah dengan membayangkan suatu kelereng atau bola yang dijatuhkan melalui media. Ukuran bola yang paling besar yang dapat melewati media adalah diameter celah bebas.

4) Tahan terhadap Penyumbatan

Parameter ini sangat penting namun sulit untuk diangkakan. Penyumbatan pada biofilter dapat terjadi melalui perangkat mekanikal dari partikel dengan cara sama dengan filter atau saringan padatan lainnya bekerja. Penyumbatan dapat juga disebabkan oleh pertumbuhan biomasa dan menjembatani ruangan dalam media. Kecenderungan penyumbatan untuk berbagai macam media dapat diperkirakan atau dibandingkan dengan melihat fraksi rongga dan diameter celah bebas. Diameter celah bebas merupakan variabel yang lebih penting.

Penyumbatan merupakan masalah yang serius pada sistem biofilter. Masalah yang paling ringan adalah masalah pemeliharaan yang terus menerus, dan yang paling buruk adalah hancurnya kemampuan filter untuk bekerja sesuai dengan disain. Penyebab lain penyumbatan adalah ketidak-seragaman volume rongga dari media. Apabila sebagian dari unggun media mempunyai volume rongga yang lebih kecil dari yang lainnya maka dapat menyebabkan terjadinya penyumbatan sebagian di dalam unggun media. Unggun media yang lebih padat dapat terjadi penyumbatan dan sebagian unggun media yang lainnya terdapat celah yang dapat mengalirkan aliran air limbah. Hal ini dapat menurunkan kinerja biofilter.

Oleh karena itu di dalam pemilihan jenis media biasanya dipilih media yang mempunyai luas permukaan spesifik yang besar serta mempunyai fraksi volume rongga yang besar. Dengan demikian jumlah mikroba yang dapat tumbuh menempel pada permukaan media cukup besar sehingga efisiensi biofilter juga menjadi lebih besar. Selain itu, karena fraksi volume rongga media besar maka sistem biofilter menjadi tahan terhadap penyumbatan. Media yang digunakan untuk biofilter juga harus mudah diangkat, dibersihkan dan dapat diganti dengan usaha dan tenaga kerja yang minimal.

Pilihan lain adalah media yang dapat diangkat sebagian. Sebagian kecil media dapat diangkat dan diganti dengan media yang baru, sementara itu bagian yang tersumbat dibersihkan. Apabila hanya sebagian kecil dari seluruh sistem yang diangkat, pengaruhnya terhadap sistem biofilter akan sangat kecil.

5) Dibuat Dari Bahan Inert

Kayu, kertas atau bahan lain yang dapat terurai secara biologis tidak cocok digunakan untuk bahan media biofilter. Demikian juga bahan logam seperti besi, aluminium atau tembaga tidak sesuai karena berkarat sehingga dapat menghambat pertumbuhan mikro-organisme. Media biofilter yang dijual secara komersial umumnya terbuat dari bahan yang tidak korosif, tahan terhadap pembusukan dan perusakan secara kimia. Namun demikian beberapa media dari plastik dapat dipengaruhi oleh radiasi ultraviolet. Plastik yang tidak terlindung sehingga terpapar oleh matahari akan segera menjadi rapuh. Masalah ini dapat diatasi dengan menggunakan penghalang UV yang dapat disatukan dengan plastik pelindung UV.

6) Harga per Unit Luas Permukaannya Murah

Seperti telah diterangkan di atas, media biofilter pada hakekatnya adalah jumlah luas permukaan yang menyediakan tempat untuk bakteri berkembang biak. Oleh karena itu untuk media biofilter sedapat mungkin dipilih jenis media yang mempunyai harga per unit satuan permukaan atau per unit satuan volume yang lebih murah.

7) Mempunyai kekuatan mekaniknya yang baik

Salah satu syarat media biofilter yang baik adalah mempunyai kekuatan mekaniknya yang baik. Untuk biofilter yang berukuran besar sangat penting apabila media mampu menyangga satu atau dua orang pekerja. Disamping untuk mendukung keperluan pemeliharaan, media dengan kekuatan mekanik yang baik berarti mempunyai stabilitas bentuk baik, mengurangi keperluan penyangga bejana atau reaktor dan lebih tahan lama.

8) Ringan

Ukuran berat media dapat mempengaruhi biaya bagian lain dari sistem. Semakin berat media akan memerlukan penyangga dan bejana atau reaktor yang lebih kuat dan lebih mahal. Apabila media dari seluruh biofilter harus dipindahkan maka akan lebih baik jika medianya ringan. Secara umum makin ringan media biofilter yang digunakan maka biaya konstruksi reaktor menjadi lebih rendah.

9) Fleksibilitas

Karena ukuran dan bentuk reaktor biofilter dapat bermacam-macam, maka media yang digunakan harus dapat masuk kedalam reaktor dengan mudah, serta dapat disesuaikan dengan bentuk reaktor.

10) Pemeliharaan mudah

Media biofilter yang baik pemeliharaannya harus mudah atau tidak perlu pemeliharaan sama sekali. Apabila diperlukan pemeliharaan sehubungan dengan penyumbatan maka media

harus mudah dipindahkan dengan kebutuhan tenaga yang sedikit. Selain itu media juga harus dengan cepat dapat dipindahkan dan dibersihkan.

11) Kebutuhan energi kecil

Proses biofilter mengkonsumsi energi secara tidak langsung, namun secara keseluruhan diperlukan pompa untuk mengalirkan air. Energi diperlukan juga untuk mensuplai oksigen kepada bakteri. Sejalan dengan semakin canggihnya teknologi biofilter maka biaya energi merupakan salah satu faktor utama dari keseluruhan perhitungan keuntungan. Oleh Karena itu disain biofilter yang memerlukan tenaga kerja dan energi minimum akan menjadi standar industri.

12) Reduksi Cahaya

Bakteri nitrifikasi sensitif terhadap cahaya. Oleh karena itu untuk biofilter yang digunakan untuk penghilangan senyawa nitrogen (nitrifikasi) maka media yang digunakan sebaiknya berwarna gelap dan bentuknya harus dapat menghalangi cahaya masuk ke dalam media.

13) Sifat Kebasahan (*wetability*)

Agar bakteri atau mikroorganisme dapat menempel dan berkembang biak pada permukaan media, maka permukaan media harus bersifat *hidrophilic* (suka air). Permukaan yang berminyak, permukaan yang bersifat seperti lilin atau permukaan licin bersifat *hidrophobic* (tidak suka air) tidak baik sebagai media biofilter.

Media biofilter yang ideal adalah media yang harganya murah namun memberikan solusi bagi pemenuhan kebutuhan proses biofilter. Hal ini karena :

- ❑ Diperoleh luas permukaan yang besar dengan harga yang murah.
- ❑ Diperoleh biaya konstruksi reaktor yang lebih rendah karena luas permukaan spesifik tinggi, ringan, kekuatan mekanikal baik dan kemampuan menyesuaikan dengan bentuk reaktor baik.
- ❑ Biaya pemeliharaan rendah karena tidak ada penyumbatan.
- ❑ Biaya pompa dan energi lain rendah karena disainnya fleksibel.

2.2.4.3.2 Jenis Media Biofilter

Media biofilter yang digunakan secara umum dapat berupa bahan material organik atau bahan material anorganik. Untuk media biofilter dari bahan organik misalnya dalam bentuk tali, bentuk jaring, bentuk butiran tak teratur (*random packing*), bentuk papan (*plate*), bentuk sarang tawon dan lain-lain. Sedangkan untuk media dari bahan anorganik misalnya batu pecah (*split*), kerikil, batu marmer, batu tembikar, batu bara (kokas) dan lainnya.

Biasanya untuk media biofilter dari bahan anorganik, semakin kecil diameternya luas permukaannya semakin besar, sehingga jumlah mikroorganisme yang dapat dibiakkan juga menjadi besar pula, tetapi volume rongga menjadi lebih kecil. Jika sistem aliran dilakukan dari atas ke bawah (*down flow*) maka sedikit banyak terjadi efek filtrasi sehingga terjadi proses penumpukan lumpur organik pada bagian atas media yang dapat mengakibatkan penyumbatan. Oleh karena itu perlu proses pencucian secukupnya. Jika terjadi penyumbatan maka dapat terjadi aliran singkat (*short pass*) dan juga terjadi penurunan jumlah aliran sehingga kapasitas pengolahan dapat menurun secara drastis.

Untuk media biofilter dari bahan organik banyak yang dibuat dengan cara dicetak dari bahan tahan karat dan ringan misalnya PVC dan lainnya, dengan luas permukaan spesifik yang besar dan volume rongga (porositas) yang besar, sehingga dapat melekatkan mikroorganisme dalam jumlah yang besar dengan resiko kebuntuan yang sangat kecil. Dengan demikian memungkinkan untuk pengolahan air limbah dengan beban konsentrasi yang tinggi serta efisiensi pengolahan yang cukup besar. Salah Satu contoh media biofilter yang banyak digunakan yakni media dalam bentuk sarang tawon (*honeycomb tube*) dari bahan PVC. Beberapa contoh perbandingan luas permukaan spesifik dari berbagai media biofilter dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 : Perbandingan Luas Permukaan Spesifik Media Biofilter.

No.	Jenis Media	Luas permukaan spesifik (m ² /m ³)
1	Trickling Filter dengan batu pecah	100-200
2	Modul Sarang Tawon (<i>honeycomb modul</i>)	150-240
3	Tipe Jaring	50
4	RBC	80-150
5	Bio-ball (random)	200 - 240

1) Batuan dan Kerikil

Berbagai ukuran kerikil dan batuan telah digunakan dalam biofilter sejak abad ke sembilan belas untuk berbagai penggunaan. Dapat dipakai baik untuk biofilter tercelup ataupun untuk trickling filter. Masih tetap digunakan untuk berbagai keperluan termasuk akuarium, akuakultur dan pengolahan air buangan rumah tangga. Bahan-bahan yang terbuat dari tanah liat banyak tersedia, murah dan relatif mempunyai luas permukaan spesifik tinggi. Batu dan kerikil bersifat inert dan tidak pecah dengan kekuatan mekanikal yang baik, serta bahan tersebut mempunyai sifat kebasahan yang baik.

Salah satu kelemahan media dari kerikil adalah fraksi volume rongganya sangat rendah dan berat. Akibat dari fraksi volume rongga rendah jenis media ini mudah terjadi penyumbatan. Untuk mencegah penyumbatan, jumlah ruangan diantara kerikil harus relatif besar. Secara umum diameter celah bebas sebanding dengan ukuran kerikil. Tetapi luas permukaan spesifik berbanding terbalik dengan ukuran kerikil. Apabila kita menggunakan media kerikil dengan ukuran yang besar untuk mencegah terjadinya penyumbatan, maka luas permukaan spesifik menjadi kecil. Dengan luas permukaan spesifik yang kecil, maka volume reaktor yang diperlukan untuk tempat media menjadi besar.

Banyak usaha yang telah dilakukan untuk menanggulangi masalah kekurangan biofilter dengan media kerikil. Salah satu metoda yang diusulkan adalah untuk menggunakan bahan yang dapat memperbesar luas permukaan media yang tersedia tanpa merubah ukuran keseluruhan satuan volume media. Salah satu aplikasinya adalah menggunakan batu apung, karbon aktif dan keramik berpori. Bahan-bahan tersebut mempunyai luas permukaan yang besar. Permasalahan yang timbul adalah akibat pengoperasian biofilter dalam jangka waktu yang lama. Pada umumnya pertumbuhan bakteri terjadi pada bagian luar permukaan media kerikil. Hal ini akan dapat menahan nutrient dan menghambat difusi oksigen kedalam bagian dalam pori media. Walaupun media kerikil ini mempunyai luas permukaan yang besar, namun hanya sebagian kecil fraksi dari permukaan area yang dapat digunakan untuk tempat tumbuhnya bakteri aerobik.

Kelemahan lain dari media kerikil adalah masalah berat. Batu kerikil mempunyai berat jenis yang cukup besar, sehingga jika digunakan sebagai media biofilter akan memerlukan konstruksi reaktor, penyangga dan sistem pengeluaran di bagian bawah yang kuat untuk menyangga beban media. Selain itu media kerikil relatif merupakan media biofilter permanen, dan sulit untuk dipindahkan. Akibatnya biaya pemeliharaan menjadi besar dan biaya konstruksi menjadi lebih mahal. Oleh karena itu media kerikil kurang cocok untuk dipakai untuk media biofilter skala komersial. Salah satu contoh media kerikil atau batu pecah untuk media biofilter dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 : Media Kerikil Atau Batu Pecah.

2) **Fiber Mesh Pads**

Ada beberapa jenis bantalan saringan serat (*fiber*) saat ini digunakan sebagai media biofilter. Bantalan ini menggunakan serat tipis menyerupai filter pendingin udara, namun dibentuk sedemikian rupa menjadi bantalan yang berat dan tebal. Bahan ini dapat berperan baik sebagai filter fisik maupun sebagai filter biologis. Beratnya cukup ringan dan mempunyai luas permukaan per unit volume yang lebih besar dibanding jenis media yang lain.

Sayangnya, bantalan kawat saringan fiber mempunyai kelemahan sama dengan media kerikil. Bahan ini mempunyai diameter celah bebas sangat kecil dan cenderung cepat tersumbat, sehingga efektifitas pengolahan berkurang. Kecenderungan penyumbatan selanjutnya diperparah oleh sulitnya proses pembersihan dan regenerasi bantalan. Umumnya bantalan saringan serat memerlukan tenaga kerja yang banyak untuk proses pembersihan.

Kelemahan lainnya pada jenis media ini adalah kesulitan pemasangan media dalam jumlah besar. Media jenis ini memerlukan penyangga tambahan agar dapat tetap dijaga dalam aliran air yang benar.

3) **Brillo Pads**

Jenis media atau *packing* yang sama dengan *mesh pad* adalah "*ribbon bundle*" atau *packing* jenis "*brillo pad*". *Packing* ini ringan dan relatif mempunyai luas permukaan besar dengan harga yang murah. Walaupun *Ribbon* tidak serapat seperti *fiber mesh pad*, namun mempunyai beberapa kekurangan sama seperti pada *mesh pads*. Salah satu kekurangan *brillo pads* adalah kekuatan mekanikalnya kecil. Tidak mungkin untuk menumpuk *packing* ini tanpa menekan lapisan bawah. Pada saat lapisan bawah tertekan, maka akan menahan laju alir menjadi mudah tersumbat. *Brillo pad* dan *mesh pads* kedua-duanya berhasil dalam penerapan untuk akuarium kecil, namun untuk kapasitas yang besar untuk produksi akuakultur sulit dan tidak ekonomis.

4) **Random atau Dumped Packing**

Media jenis ini ditiru dari *packing* yang digunakan pada industri kimia. Terdapat bermacam jenis yang berbeda dari cetakan plastik yang tersedia dalam berbagai luas permukaan spesifik. Media jenis ini dimasukkan secara acak ke dalam reaktor sehingga dinamakan *random packing*. Umumnya media ini mempunyai fraksi rongga yang baik dan relatif tahan terhadap penyumbatan dibandingkan *mesh pads* atau unggun kerikil. Karena setiap bagian *packing* atau media dapat disesuaikan pada setiap bentuk tanki atau vessel. Beberapa contoh jenis media ini dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 : Beberapa Contoh Jenis Media "Random Packing".

Media tipe *random packing* harus dipasang di atas penyangga jenis *grid* atau *screen*. *Packing* ini harus memakai wadah karena tidak mempunyai kekuatan struktur dasar. Secara umum *packing*

random kekuatan mekaniknya relatif kecil. Seseorang tidak dapat berjalan di atas *packing* random tanpa menumpuk atau merapatkan unggun filter.

Walaupun *packing* random relatif ringan namun sulit untuk dipindahkan dari vessel besar apabila sudah terpasang. Hal ini karena untuk mengeluarkan *packing* harus dikeruk. Pembersihan harus dilakukan ditempat. Kekurangan lain *packing* random, adalah pemasangannya sulit. Apabila pemasangan unggun kurang hati-hati, terjadi beberapa hal yang tidak sesuai pada kerapatan *packing* di seluruh unggun. Unggun *packing* random akan cenderung turun dan merapat.

Kekurangan lain dari media kerikil dan *packing* random yaitu operator tidak dapat melihat apa yang terjadi dalam unggun biofilter. Sangat sulit untuk menggeser material untuk mengetahui apa yang terjadi dalam unggun. Bagian atas unggun yang terlihat beroperasi normal, sementara bagian bawah unggun tersumbat dan tidak beroperasi dengan benar.

Packing random tersedia dari bahan *stainless steel*, keramik, porselein dan berbagai bahan termoplastik. Pada umumnya *packing* untuk akuakultur merupakan cetakan injeksi dari PP (polypropylene) atau HDPE (*high density polyethylene*). PP dan HDPE merupakan polimer yang cukup bagus dengan ketahanan panasnya tinggi dan tahan terhadap bahan kimia. Sayangnya banyak senyawa PP dan HDPE yang digunakan untuk *packing* tidak cukup bercampur dengan penahan ultraviolet untuk menjaga *packing* dari paparan sinar matahari. Masalah lain bahan polimer PP dan HDPE ini sangat hidrophobik (tidak suka air). Sifat dapat basah (*wetability*) rendah, sehingga memerlukan waktu berbulan-bulan untuk dapat basah total.

Packing random relatif merupakan media biofilter modern, salah satu kekurangannya adalah harganya relatif mahal. Cara pencetakan injeksi merupakan cara yang mahal untuk pembentuk permukaan. Media tipe random tersebut sangat baik digunakan untuk instalasi kecil karena pada sistem kecil biaya yang tinggi tidak menjadi masalah. *Packing* ini mudah di pasang dalam reaktor yang berbentuk silinder, dalam hal ini pemasangan tidak perlu dilakukan pemotongan atau adanya bahan yang terbuang.

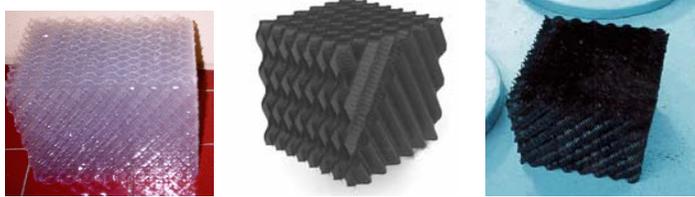
5) Media Terstruktur (*Structured Packings*)

Media terstruktur dapat digunakan untuk berbagai keperluan selain biofilter. media ini memiliki semua karakteristik yang ada pada media "ideal". Media terstruktur telah digunakan pada biofilter selama lebih dari 25 tahun untuk pengolahan air buangan rumah tangga maupun air limbah industri. Salah satu jenis media terstruktur yang sering digunakan adalah media dari bahan plastik tipe sarang tawon. Salah satu contoh spesifikasi media terstruktur tipe sarang tawon dapat dilihat pada Tabel 2.6. Sedangkan bentuk media dapat dilihat pada Gambar 2.14.

Konstruksi media terstruktur biasanya merupakan lembaran dari bahan PVC (*polyvinyl chlorida*) yang dibentuk secara vacum. Pembentukan dengan cara vakum kontinyu adalah proses otomatis kecepatan tinggi yang dapat memproduksi material dalam jumlah besar. Metoda konstruksi ini memungkinkan media terstruktur diproduksi dengan harga yang lebih murah per unit luas permukaan dibandingkan pencetakan secara injeksi. PVC relatif merupakan resin murah dengan sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan PP atau HDPE. PVC pada awalnya bersifat *hidrophobic* namun biasanya menjadi basah atau mempunyai sifat kebasahan yang baik dalam waktu satu sampai dua minggu.

Tabel 2.6 : Contoh Spesifikasi Media Tipe Sarang Tawon.

Tipe	: Sarang Tawon, cross flow.
Material	: PVC
Ukuran Modul	: 30 ^{cm} x 25 ^{cm} x 30 ^{cm}
Ukuran Lubang	: 3 cm x 3 cm
Ketebalan	: 0,5 mm
Luas Spesifik	: 150 -220 m ² /m ³
Berat	: 30-35 kg/m ³
Porositas Ronga	: 0,98
Warna	: bening transparan atau Hitam



Gambar 2.14 : Bentuk Media Terstruktur Tipe Sarang Tawon (*Cross Flow*) Yang Banyak Digunakan Untuk Biofilter.

Lembaran-lembaran PVC disambung membentuk blok segi-empat. Beberapa media mempunyai “tube/saluran” dalam yang hanya mengalirkan sepanjang satu axis. Jenis lain dari media terstruktur yang dikenal sebagai *cross corrugated packing* yang memungkinkan aliran mengalir sepanjang dua axis. Hampir semua media terstruktur digunakan untuk biofilter adalah jenis aliran silang (*cross flow*).

Media terstruktur misalnya media tipe sarang tawon *crossflow* mempunyai luas permukaan spesifik yang bervariasi tergantung dari diameter celah bebas atau volume rongganya. Salah satu contoh media tipe sarang tawon dari bahan PVC dengan ukuran lubang 3 cm x 3 cm mempunyai luas spesifik 150 – 220 m²/m³, berat 30 – 35 kg/m³, dan porositas rongga 98 %. Selain itu mempunyai kekuatan mekanik (*mechanical strength*) yang cukup besar mencapai lebih dari 2000 lbs. per sq.ft.

2.2.4.3.3 Metoda Pemilihan Media

Untuk memilih jenis atau tipe media biofilter yang akan digunakan harus dikaji secara menyeluruh beberapa aspek yang berpengaruh di dalam proses biofilter baik secara teknis maupun ekonomis. Beberapa aspek penting yang perlu diperhatikan antara lain luas permukaan spesifik, fraksi volume rongga, diameter celah bebas, ketahanan terhadap kebuntuan, jenis material, harga per satuan luas permukaan, kekuatan mekanik, berat media, fleksibilitas, perawatan, konsumsi energi, serta sifat dapat basah atau watability.

Untuk mengkaji secara keseluruhan dapat dilakukan dengan cara pembobotan (*scoring*). Skoring dilakukan dengan skala 1(satu) untuk yang terburuk sampai dengan 5 (lima) untuk yang terbaik. Hasil pembobotan untuk beberapa jenis tipe media ditunjukkan pada Tabel 2.7.

Dari hasil pembobotan tersebut dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan tipe media biofilter terstruktur misalnya tipe sarang tawon (*cross flow*) secara teknis paling baik untuk digunakan sebagai media biofilter untuk pengolahan air limbah.

Walaupun secara pembobotan tipe media terstruktur mempunyai bobot paling tinggi dibandingkan dengan tipe media yang lain artinya secara teknis mempunyai keunggulan yang paling baik, tetapi di dalam aplikasinya di lapangan perlu juga dipertimbangkan aspek ketersediaan bahan di lokasi serta kapasitas biofilter.

Tabel 2.7 : Contoh Pembobotan Terhadap Beberapa Tipe Media Biofilter.

Tipe Media	A	B	C	D	E	F	G
Luas Pemukaan Spesifik	5	1	5	5	5	5	5
Volume Rongga	1	1	1	1	4	5	5
Diameter celah bebas	1	3	1	1	2	2	5
Ketahanan terhadap penyumbatan	1	3	1	1	3	3	5
Material	5	5	5	5	5	5	5
Harga per satuan luas	5	3	3	5	4	1	4
Kekuatan mekanik	5	5	1	1	2	2	5
Berat media	1	1	5	5	4	5	5
Fleksibilitas	2	2	1	3	3	4	4

Perawatan	1	1	1	1	3	3	5
Konsumsi Energi	2	2	1	5	4	5	5
Sifat dapat basah	5	5	3	3	3	1	3
Total Bobot	34	32	28	36	42	41	56

Keterangan :

Bobot : 1 = Terburuk 5 = Terbaik

- A : Gravel atau kerikil kecil
- B : Garavel atau kerikil besar
- C : Mash Pad
- D : Brillo Pad
- E : Bio Ball
- F : Random Dumped
- G : Media Terstruktur (sarang tawon)

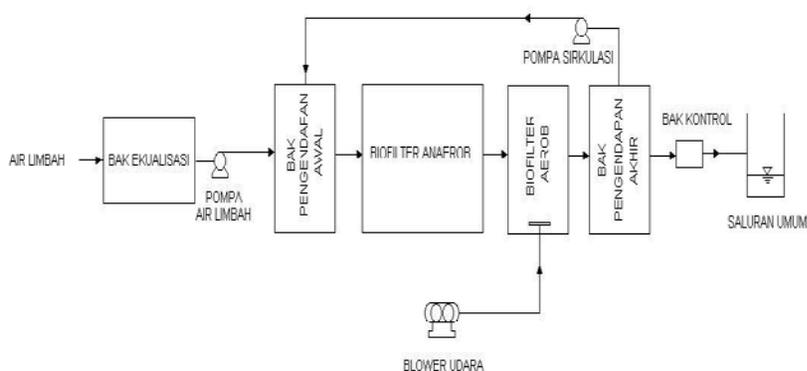
Jika lokasinya jauh dari produsen media dan kapasitas biofilter kecil maka harga media serta biaya transportasinya akan menjadi mahal sekali sehingga menjadi tidak ekonomis. Oleh karena itu walaupun sarang tawon secara teknis mempunyai persyaratan yang paling baik, perlu dipertimbangkan pemilihan media tipe lain yang lebih sesuai dengan kondisi di lapangan.

2.2.4.3.4 Kriteria Perencanaan IPAL Biofilter Anaerob-Aerob

Kriteria perencanaan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) dengan proses biofilter anaerob-aerob meliputi kriteria perencanaan bak pengendap awal, reaktor biofilter anaerob, reaktor biofilter aerob, bak pengendap akhir, sirkulasi sirkulasi serta disain beban organik.

Skema proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilter anaerob-aerob secara umum ditunjukkan seperti pada Gambar 2.14. Seluruh air limbah dikumpulkan dan dialirkan ke bak penampung atau bak ekualisasi, selanjutnya dipompa ke bak pengendapan awal. Air limpasan dari bak pengendap awal selanjutnya dialirkan ke reaktor anaerob.

Di dalam reaktor anaerob tersebut diisi dengan media dari bahan plastik berbentuk sarang tawon. Jumlah reaktor anaerob ini bisa dibuat lebih dari satu sesuai dengan kualitas dan jumlah air baku yang akan diolah. Penguraian zat-zat organik yang ada dalam air limbah dilakukan oleh bakteri anaerobik atau facultatif aerobik. Setelah beberapa hari operasi, pada permukaan media filter akan tumbuh lapisan film mikro-organisme. Mikroorganisme inilah yang akan menguraikan zat organik yang belum sempat terurai pada bak pengendap.



Gambar 2.14 : Skema Proses Pengolahan Air Limbah Dengan Sistem Biofilter Anaerob-Aerob.

Air limpasan dari reaktor anaerob dialirkan ke reaktor aerob. Di dalam reaktor aerob ini diisi dengan media dari bahan plastik tie sarang tawon (*honeycomb tube*), sambil diaerasi atau dihembus dengan udara sehingga mikro organisme yang ada akan menguraikan zat organik yang ada dalam air limbah serta tumbuh dan menempel pada permukaan media. Dengan demikian air limbah akan kontak dengan mikro-organisme yang tersuspensi dalam air maupun yang menempel pada permukaan media yang mana hal tersebut dapat meningkatkan efisiensi penguraian zat

organik, deterjen serta mempercepat proses nitrifikasi, sehingga efisiensi penghilangan amoniak menjadi lebih besar.

Dari bak aerasi, air dialirkan ke bak pengendap akhir. Di dalam bak ini lumpur aktif yang mengandung massa mikroorganisme diendapkan dan dipompa kembali ke bagian inlet bak aerasi dengan pompa sirkulasi lumpur. Sedangkan air limpasan (*over flow*) dialirkan ke bak khlorinasi. Di dalam bak kontaklor ini air limbah dikontakkan dengan senyawa khlor untuk membunuh mikroorganisme patogen.

Air olahan, yakni air yang keluar setelah proses khlorinasi dapat langsung dibuang ke sungai atau saluran umum. Dengan kombinasi proses anaerob dan aerob tersebut selain dapat menurunkan zat organik (BOD, COD), amonia, deterjen, padatan tersuspensi (SS), phospat dan lainnya.

Secara garis besar kriteria perencanaan IPAL biofilter anaerob-aerob dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Grafik hubungan antara beban BOD (BOD Loading) dengan Efisiensi Penghilangan di dalam reaktor biofilter anaerob-aerob dapat dilihat pada Gambar 2.15.

Tabel 2.8 : Kriteria Perencanaan Biofilter Anaerob-Aerob.

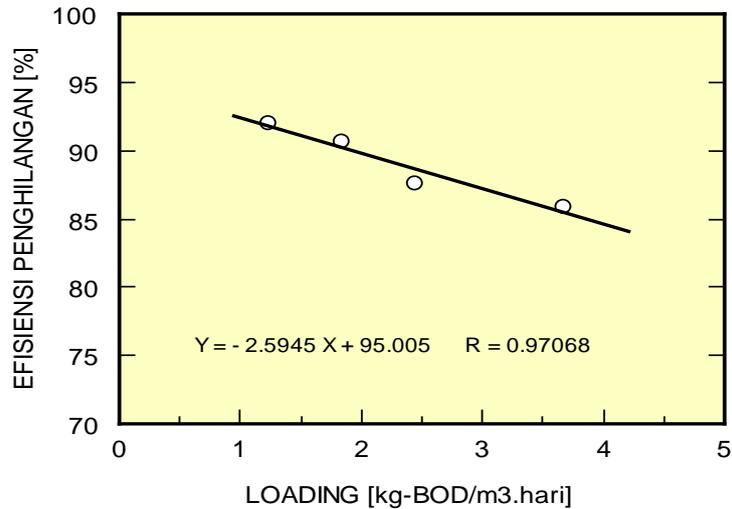
BIOFILTER ANAEROB-AEROB	
Flow Diagram Proses	
Parameter Perencanaan : Bak Pengendapan Awal	<ul style="list-style-type: none"> ● Waktu Tinggal (Retention Time) rata-rata = 3-5 Jam ● Beban permukaan = 20 – 50 m³/m².hari. (JWWA)

Lanjutan Tabel 2.8 : Kriteria Perencanaan Biofilter Anaerob-Aerob.

<p>Biofilter Anaerob :</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Beban BOD per satuan permukaan media (L_A) = 5 – 30 g BOD /m^2. Hari. (EBIE Kunio., “ Eisei Kougaku Enshu “ , Morikita shuppan kabushiki Kaisha, 1992. • Beban BOD 0,5 - 4 kg BOD per m^3 media.(menurut Nusa Idaman Said, BPPT, 2002) • Waktu tinggal total rata-rata = 6-8 jam • Tinggi ruang lumpur = 0,5 m • Tinggi Bed media pembiakan mikroba = 0,9 -1,5 m • Tinggi air di atas bed media = 20 cm
<p>Biofilter Aerob :</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Beban BOD per satuan permukaan media (L_A) = 5 – 30 g BOD /m^2. Hari. • Beban BOD 0,5 - 4 kg BOD per m^3 media.(menurut Nusa Idaman Said, BPPT, 2002) • Waktu tinggal total rata-rata = 6 - 8 jam • Tinggi ruang lumpur = 0,5 m • Tinggi Bed media pembiakan mikroba = 1,2 m • Tinggi air di atas bed media = 20 cm •

Lanjutan Tabel 2.8 : Kriteria Perencanaan Biofilter Anaerob-Aerob.

Bak Pengendap Akhir	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu Tinggal (Retention Time) rata-rata = 2- 5 Jam • Beban permukaan (surface loading) rata-rata = 10 $m^3/m^2.hari$ • Beban permukaan = 20 –50 $m^3/m^2.hari$. (JWWA)
Ratio Sirkulasi (Recycle Ratio)	<ul style="list-style-type: none"> • 25 – 50 %
Media Pembiakan Mikroba :	
Tipe	Sarang Tawon (crss flow).
Material	PVC sheet
Ketebalan	0,15 – 0,23 mm
Luas Kontak Spesifik	150 – 226 m^2/m^3
Diameter lubang	2 cm x 2 cm
Berat Spesifik	30 -35 kg/m^3
Porositas Rongga	0,98



Gambar 2.15 : Grafik Hubungan Antara Beban BOD (BOD Loading) Dengan Efisiensi Penghilangan Di Dalam Reaktor Biofilter Anaerob-Aerob.

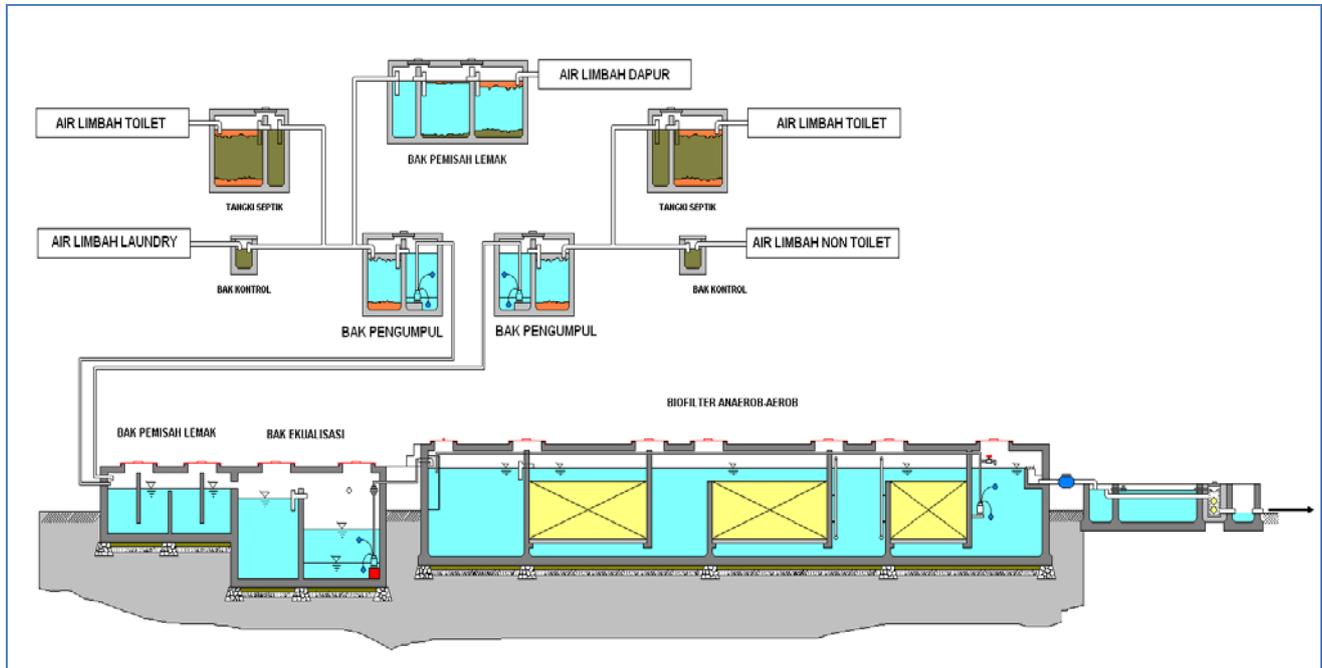
Sumber : Nusa Idaman Said, BPPT, 2002.

BAB 3

PERALATAN STANDAR INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH DENGAN PROSES BIOFILTER ANAEROB AEROB

3.1 Pengolahan Air Limbah Fasilitas Kesehatan Dengan Proses Biofilter Anaerob Aerob

Tipikal proses pengolahan air limbah rumah sakit atau fasilitas pelayanan kesehatan dengan proses biofilter anaerob aerob dapat dilihat seperti pada gambar 3.1. Seluruh air limbah yang berasal dari beberapa proses kegiatan rumah sakit dialirkan melalui saluran pembuang ke bak pengumpul kecuali yang mengandung logam berat dan pelarut kimia. Air limbah yang berasal dari dapur (kantin) dialirkan ke bak pemisah lemak (*grease trap*) dan selanjutnya dilairkan ke bak pengumpul. Air limbah yang berasal dari kegiatan laundry dialirkan ke bak pengolahan awal untuk menghilangkan busa, selanjutnya dilairkan ke bak pengumpul. Air limbah yang berasal dari limbah domestik non toilet dialirkan ke bak screen atau bak kontrol dan selanjutnya dilairkan ke bak penumpul. Air limbah toilet dialirkan ke tangki septik, selanjutnya air limpasannya (*overflow*) dialirkan ke bak pengumpul. Air limbah yang berasal dari laboratorium dilairkan ke proses pengolahan awal dengan cara pengendapan kimia dan air olahannya dialirkan ke bak pengumpul. Air limbah yang berasal dari ruang operasi dialirkan langsung ke bak pengumpul. Aliran air limbah dari sumber ke bak pengumpul dilakukan secara gravitasi sedangkan dari bak penumpun ke sistem IPAL dilakukan dengan sistem pemompaan. Dari bak pengumpul, air limbah dipompa ke bak pemisah lemak atau minyak.



Gambar 3.1 : Diagram Proses Pengolahan Air Limbah Fasilitas Kesehatan (Rumah Sakit) Dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob.

Bak pemisah lemak tersebut berfungsi untuk memisahkan lemak atau minyak yang masih tersisa serta untuk mengendapkan kotoran pasir, tanah atau senyawa padatan yang tak dapat terurai secara biologis.

Selanjutnya limpasan dari bak pemisah lemak dialirkan ke bak ekualisasi yang berfungsi sebagai bak penampung limbah dan bak kontrol aliran. Air limbah di dalam bak ekualisasi selanjutnya dipompa ke unit IPAL.

Di dalam unit IPAL tersebut, pertama air limbah dialirkan masuk ke bak pengendap awal, untuk mengendapkan partikel lumpur, pasir dan kotoran organik tersuspensi. Selain sebagai bak pengendapan, juga berfungsi sebagai bak pengurai senyawa organik yang berbentuk padatan, sludge digestion (pengurai lumpur) dan penampung lumpur.

Air limpasan dari bak pengendap awal selanjutnya dialirkan ke bak anaerob (biofilter Anaerob). Di dalam bak kontak anaerob tersebut diisi dengan media khusus dari bahan plastik tipe sarang tawon. Di dalam reaktor Biofilter Anaerob, penguraian zat-zat organik yang ada dalam air limbah dilakukan oleh bakteri anaerobik atau fakultatif aerobik. Disini zat organik akan terurai menjadi gas metan dan karbon dioksida tanpa pemberian udara. Air limpasan dari reaktor biofilter anaerob dialirkan ke reaktor biofilter aerob.

Didalam reaktor biofilter aerob diisi dengan media sambil dihembus dengan udara. Setelah beberapa hari operasi, pada permukaan media filter akan tumbuh lapisan film mikro-organisme. Mikro-organisme inilah yang akan menguraikan zat organik yang belum sempat terurai pada bak pengendap awal.

Dari reaktor biofilter aerob air limbah dialirkan ke bak pengendapan akhir dan air limpasannya dialirkan ke bak khlorinator untuk proses disinfeksi. Sebagian air di dalam bak pengendap akhir disirkulasikan kembali ke bak pengendapan awal.

Secara urutan proses dapat dibagi menjadi dua yaitu pengolahan primer dan pengolahan sekunder.

Pengolahan primer yang terdiri dari antara lain :

- Bak pengumpul,
- Screen* atau saringan untuk memisahkan kotoran padat,
- Bak pemisah pasir atau *grid chamber*,
- Bak pemisah minyak/lemak atau *grease trap*,
- Bak ekualisasi.

Sedangkan pengolahan sekunder merupakan unit atau peralatan standard yang digunakan dalam biofilter anaerob aerob meliputi:

- Bak pengendapan Awal.
- Kolam anaerob biofilter tempat penguraian air limbah oleh mikroorganisme secara anaerob
- Kolam Aerob Biofilter tempat penguraian air limbah dengan mikroorganisme secara aerob.
- Bak Pengendapan Akhir.
- Peralatan pemasok udara seperti *blower* dan difuser udara.
- Sistem pengadukan seperti untuk membuat campuran mikroorganisma dan air limbah homogen serta tidak mencegah pengendapan lumpur dalam kolam aerob biofilter. Sistem ini tidak perlu digunakan apabila suplai udara dalam kolam tersebut sudah cukup besar dan tidak terjadi pengendapan. Udara disalurkan melalui pompa *blower (diffused)* atau melalui aerasi mekanik. Sel mikroba membentuk flok yang akan mengendap di media kolam aerob biofilter.

3.2 Unit Pengumpul Air Limbah

3.2.1 Jaringan Pengumpul Air Limbah

Unit ini berfungsi untuk mengumpulkan air limbah dari berbagai sumber. Limbah cair / air limbah yang dikeluarkan oleh fasilitas pelayanan kesehatan bersumber dari hasil berbagai macam kegiatan antara lain kegiatan dapur, *laundry*, rawat inap, ruang operasi, kantor, laboratorium, air

limpasan tangki septik, air hujan dan lainnya. Pada dasarnya pengelolaan limbah cair / air limbah fasilitas kesehatan disesuaikan dengan sumber serta karakteristik limbahnya.

Untuk limbah cair / air limbah yang berasal dari dapur, *laundry*, kantor, ruang rawat inap, ruang operasi, air limpasan tangki septik umumnya mengandung polutan senyawa organik yang cukup tinggi sehingga proses pengolahannya dapat dilakukan dengan proses biologis. Untuk limbah cair / air limbah rumah sakit yang berasal dari laboratorium biasanya banyak mengandung logam berat yang mana bila air limbah tersebut dialirkan ke dalam proses pengolahan secara biologis, logam berat tersebut dapat mengganggu proses pengolahannya. Oleh karena itu untuk pengelolaan limbah cair / air limbah fasilitas pelayanan kesehatan yang berasal dari laboratorium perlu dilakukan pengolahan dengan cara dipisahkan dan ditampung terlebih dahulu, kemudian diolah secara kimia-fisika, selanjutnya air olahannya dialirkan bersama-sama dengan air limbah yang lain, dan selanjutnya diolah dengan proses pengolahan secara biologis.

Pengaliran air limbah dapat dilakukan dengan cara gravitasi, dengan cara pemompaan atau dengan kombinasi aliran gravitasi dan pemompaan. Sistem pembuangan air limbah dari dalam bangunan dapat dilakukan dengan dua cara yakni :

(1) Sistem Campuran.

Yaitu sistem pembuangan, dimana air limbah dan air bekas dikumpulkan dan dialirkan ke dalam suatu saluran.

(2) Sistem terpisah.

Yaitu sistem pembuangan, dimana air limbah dan air bekas masing-masing dikumpulkan dan dialirkan secara terpisah. Sistem pembuangan air limbah disambungkan ke IPAL, dan sistem pembuangan air bekas disambungkan ke riol umum bila dimungkinkan.

Cara pengaliran air limbah dapat dilakukan dengan beberapa cara yakni :

(1) Sistem gravitasi.

Sistem ini dapat digunakan untuk mengalirkan air limbah dari tempat yang lebih tinggi secara gravitasi ke saluran IPAL atau saluran umum yang letaknya lebih rendah.

(2) Sistem bertekanan.

Bila IPAL letaknya lebih tinggi dari letak saluran pembuangan air limbah, air limbah dikumpulkan lebih dahulu dalam suatu bak penampungan atau bak kontrol kemudian dipompakan ke IPAL

(3) Sistem gabungan kombinasi aliran gravitasi dan pemompaan

3.2.2. Ukuran Pipa Jaringan

Di Indonesia ukuran-ukuran sistem pembuangan ditentukan berdasarkan nilai unit alat plambing, sebagaimana dinyatakan dalam SNI 03-6481-2000m Sistem Plambing 2000. Nilai unit alat plambing dapat dilihat pada Tabel 3.1. Ukuran pipa pembuangan ditentukan berdasarkan jumlah beban unit alat plambing maksimum yang diizinkan untuk setiap diameter pipa dan kemiringan pipa, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.1 : Unit Beban Alat Plambing Untuk Air Limbah.

No	Alat Plambing atau Kelompok Alat Plambing	Nilai Unit Beban Alat Plambing
1	Kelompok alat plambing di dalam kamar mandi yang terdiri dari bak cuci tangan, bak mandi atau dus dan kloset dengan katup penggelontor	8

	langsung	
2	Kelompok alat plambing di dalam kamar mandi yang terdiri dari bak cuci tangan, bak mandi atau dus dan kloset dengan katup pengglontor.	6
3	Bak mandi dengan perangkap 40 mm	2
4	Bak mandi dengan perangkap 50 mm.	3
5	Bidet dengan perangkap 40 mm	3
6	Gabungan bak cuci dan bak cuci pakaian dengan perangkap 40 mm.	3
7	Gabungan bak cuci dan bak cuci pakaian yang memakai unit penggerus sisa makanan (perangkap 40 mm terpisah untuk tiap unit).	4
8	Unit dental atau peludahan	1
9	Bak cuci tangan untuk Dokter gigi.	1
10	Pancaran air minum	0,5
11	Mesin cuci piring untuk rumah tangga.	2
12	Lubang pengering lantai	1
13	Bak cuci dapur untuk rumah tangga	2
14	Bak cuci dapur untuk rumah tangga dengan unit penggerus sisa makanan.	3
15	Bak cuci tangan dengan lubang pengeluaran air kotor sebesar 40 mm.	2
16	Bak cuci tangan dengan lubang pengeluaran air kotor sebesar 25 mm atau 32 mm..	1
17	Bak cuci tangan untuk pemangkas rambut , salon kecantikan, kamar bedah.	2
18	Bak cuci tangan jenis majemuk seperti pancuran cuci atau bak cuci, untuk tiap unit bak cuci tangan setaraf.	2
19	Bak cuci pakaian (1 atau 2 bagian).	2
20	Dus pada ruang dus.	2
21	Dus pada kelompok dus untuk tiap dus	3
22	Bak cuci untuk kamar bedah	8
23	Bak cuci jenis penggelontor bibir atau katup glontor langsung.	3
24	Bak cuci jenis umum dipakai dengan pengeluaran dan perangkap pada lantai	4
25	Bak cuci seperti pot, ruang cuci atau sejenis.	2
26	Bak cuci jenis umum yang dipakai dengan pengeluaran dan perangkap P.	8
27	Peturasan dengan katup gelontor 25 mm	4
28	Peturasan dengan katup gelontor 20 mm	4
29	Peturasan dengan tangki gelontor.	8
30	Kloset dengan katup gelontor.	1
31	Kloset dengan tangki gelontor	1
32	Kolam renang untuk tiap volume 3,5 m ³	1
33	Alat plambing yang tak tercantum disini dengan pengering atau perangkap berukuran 32 mm.	1
34	Alat plambing yang tak tercantum disini dengan pengering atau perangkap berukuran 40 mm.	2
35	Alat plambing yang tak tercantum disini dengan pengering atau perangkap berukuran 50 mm.	3
36	Alat plambing yang tak tercantum disini dengan pengering atau perangkap berukuran 65 mm.	4
37	Alat plambing yang tak tercantum disini dengan pengering atau perangkap berukuran 80 mm.	5
38	Alat plambing yang tak tercantum disini dengan	6

	pengering atau perangkat berukuran 100 mm.	
--	--	--

Tabel 3.2 : Beban Maksimum Yang Diizinkan Untuk Perpipaan Air Buangan/Limbah (Dinyatakan Dalam Unit Beban Alat Plambing)

Ukuran diameter pipa (mm)	Saluran Air Buangan/Limbah Gedung dari Riol air limbah gedung			
	Kemiringan (%)			
	0,5	1	2	4
40 1)				
50 2)			21	26
63 3)			24	31
75			216	250
110		180	422	500
125		390	480	575
150		700	840	1000
200	1400	1600	1920	2300
250	2500	2900	3500	4200
315	3000	4600	5600	6700
375	7000	8300	10000	12000

Keterangan :

- 1) Tidak diizinkan untuk kloset.
- 2) Diizinkan untuk tidak boleh lebih dari 2 (dua) kloset.
- 3) Diizinkan untuk tidak boleh lebih dari 6 (enam) kloset.

3.2.3 Bak Kontrol

A. Umum

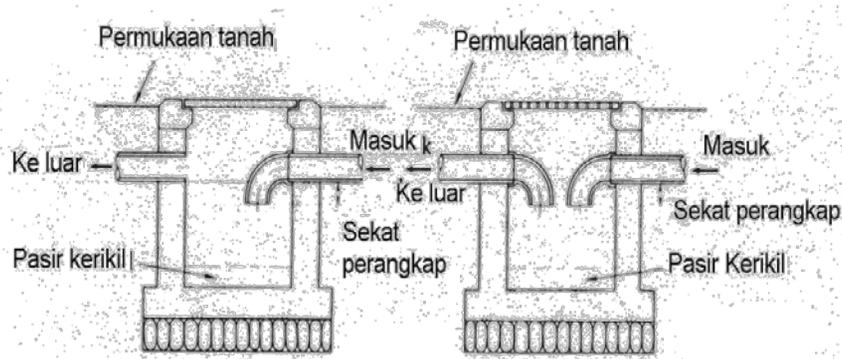
- 1) Limbah akan mengendap pada dasar dari dinding pipa pembuangan setelah digunakan untuk jangka waktu lama. Di samping itu kadang-kadang ada juga benda-benda kecil yang sengaja atau tidak jatuh dan masuk ke dalam pipa. Semuanya itu akan menyebabkan tersumbatnya pipa, sehingga perlu dilakukan tindakan pengamanan.
- 2) Pada saluran pembuangan di halaman perlu dipasang bak kontrol.
- 3) Untuk pipa yang ditanam dalam tanah, bak kontrol yang lebih besar akan memudahkan pekerjaan pembersihan pipa. Penutup bak kontrol harus rapat agar tidak membocorkan gas dan bau dari dalam pipa pembuangan.

B. Pemasangan

- 1) Bak kontrol harus dipasang di tempat yang mudah dicapai, dan sekelilingnya perlu area yang cukup luas untuk orang yang melakukan pembersihan pipa.
- 2) Untuk pipa ukuran sampai 65 mm, jarak bebas sekeliling bak kontrol sekurang-kurangnya 30 cm, dan untuk ukuran pipa 75 cm dan lebih besar jarak tersebut sekurang-kurangnya 45 cm.
- 3) Bak kontrol harus dipasang pada lokasi sebagai berikut :
 - a) Awal dari cabang mendatar.
 - b) Pada pipa mendatar yang panjang.
 - c) Pada tempat dimana pipa pembuangan membelok dengan sudut lebih dari 45°.
 - d) Pada beberapa tempat sepanjang pipa pembuangan yang ditanam dalam tanah.

- 4) Jarak antara bak kontrol sepanjang pipa pembuangan untuk pipa ukuran sampai 100 mm tidak boleh lebih dari 15 m, sedangkan untuk pipa ukuran lebih besar tidak boleh lebih dari 30 m.

Contoh konstruksi bak kontrol air limbah dapat dilihat seperti pada Gambar 3.2.

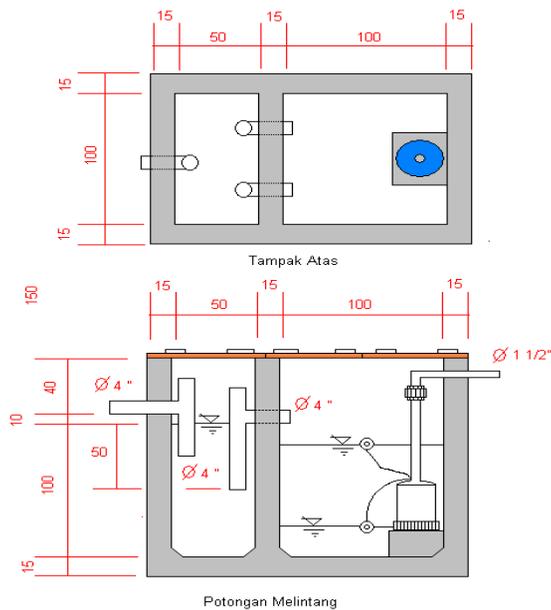


Gambar 3.2 : Contoh Konstruksi Bak Kontrol.

3.2.4 Bak Pengumpul Air Limbah

Jika sumber limbah terpecah-pecah dan tidak memungkinkan untuk dialirkan secara gravitasi maka pengumpulan air limbah dari sumber yang berdekatan dapat dikumpulkan terlebih dahulu ke dalam suatu bak pengumpul, selanjutnya di pompa ke bak pemisah minyak/lemak atau bak ekualisasi. Bak pengumpul dapat juga berfungsi untuk memisahkan pasir atau lemak serta kotoran padatan yang dapat menyebabkan hambatan terhadap kinerja pompa.

Salah satu contoh tipikal konstruksi bak pengumpul dapat dilihat pada Gambar 3.3 , Gambar 3.4 dan Gambar 3.5.



Gambar 3.3 : Salah Satu Contoh Tipikal Konstruksi Bak Pengumpul.



Gambar 3.4 : Photo Tipikal Bak Pengumpul Air Limbah.



Gambar 3.5 : Bak Pengumpul Air Limbah (Tampak dari Atas) dan Panel Kontrol Pompa.

3.3 Bak Saringan (*Screen Chamber*)

Di dalam proses pengolahan air limbah, *screening* (saringan) atau saringan dilakukan pada tahap yang paling awal. Saringan untuk penggunaan umum (*general purpose screen*) dapat digunakan untuk memisahkan bermacam-macam benda padat yang ada di dalam air limbah, misalnya kertas, plastik, kain, kayu dan benda dari metal serta lainnya.

Benda-benda tersebut jika tidak dipisahkan dapat menyebabkan kerusakan pada sistem pemompaan dan unit peralatan pemisah lumpur (*sludge removal equipment*) misalnya *weir*, *block valve*, *nozle*, saluran serta perpipaan. Hal tersebut dapat menimbulkan masalah yang serius terhadap operasional maupun pemeliharaan peralatan. Saringan yang halus kadang-kadang dapat juga digunakan untuk memisahkan padatan tersuspensi.

Screen chamber terdiri dari saluran empat persegi panjang, dasar saluran biasanya 7 –15 cm lebih rendah dari saluran inlet (*incoming sewer*). *Screen chamber* harus dirancang sedemikian rupa agar tidak terjadi akumulasi pasir (*grit*) atau material yang berat lainnya di dalam bak. Jumlah bak minimal 2 buah untuk instalasi dengan kapasitas yang besar.

Struktur inlet umumnya divergen (melebar) untuk mendapatkan *head loss* yang minimum. Beberapa contoh bentuk *scrren chamber* dapat dilihat seperti pada Gambar 3.5.

Screen atau saringan dapat dikelompokkan menjadi dua yakni saringan kasar (*coarse screen*) dan saringan halus (*fine screen*). Saringan kasar diletakkan pada awal proses. Tipe yang umum digunakan antara lain : *bar rack* atau *bar screen*, *coarse woven – wire screen* dan *comminutor*. Saringan halus (*fine screen*) mempunyai bukaan (*opening screen*) 2,3 – 6 mm, ada juga yang mempunyai bukaan yang lebih kecil dari 2,3 mm. Biasanya untuk saringan halus pembersihannya dilakukan secara mekanis. Beberapa tipe screen yang sangat halus (*micro screen*) juga telah banyak dikembangkan untuk dipakai pada pengolahan sekunder.

3.3.1 Bar Screen

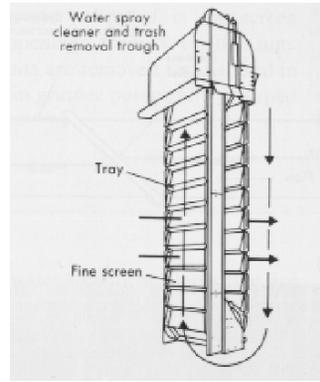
Bar screen terdiri dari batang baja yang dilas pada kedua ujungnya terhadap dua batang baja horizontal. Penggolongan *bar screen* yakni kasar, halus dan sedang tergantung dari jarak antar batang (*bar*). Saringan halus (*fine screen*) jarak antar batang 1,5 – 13 mm, saringan sedang (*medium screen*) jarak antar batang 13 – 25 mm, dan saringan kasar (*coarse screen*) jarak antar batang 32 – 100 mm.

Saringan halus (*fine screen*) terdiri dari *fixed screen* dan *movable screen*. *Fixed* atau *static screen* dipasang permanen dengan posisi vertikal, miring atau horizontal. *Movable screen* dibersihkan harus secara berkala. Kedua tipe saringan halus tersebut juga dapat menghilangkan padatan tersuspensi, lemak dan kadang dapat meningkatkan oksigen terlarut (DO level) air limbah. Berapa deskripsi untuk saringan kasar (*coarse screen*) dapat dilihat pada Tabel 3.3.

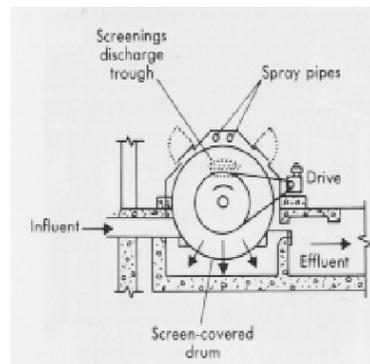
Gambar
Beberapa
Penyaring
Sering
Dalam



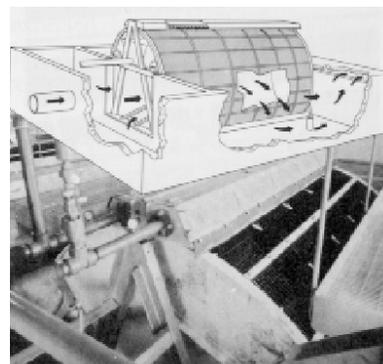
a. intake bar rack



b. traveling screen



c. drum screen



d. microstrainer

Pengolahan. (a). *intake bar rack* , (b) *traveling screen*,
(c) *rotary drum screen*, (d) *microstrainer*

Tabel 3.3 : Deskripsi Saringan Kasar (*Coarse Screen*)

Tipe	Lokasi	Diskripsi
<i>Bar Rack</i> atau <i>Bar Screen</i>	Di depan stasiun pompa atau unit pemisah pasir (grit chamber)	<i>Bar screen</i> dapat dibersihkan secara manual atau mekanik. Untuk pembersihan secara manual biasanya digunakan untuk instalasi pengolahan air limbah kapasitas kecil.
<i>Coarse woven-wire screen</i>	Di belakang <i>bar screen</i> atau di depan <i>trickling filter</i> .	Bentuknya bermacam-macam : datar, keranjang, sangkar (<i>cage</i>), disk. Digunakan untuk memisahkan padatan dengan ukuran yang relatif kecil. Pembersihan dilakukan dengan cara mengambil

3.5 :
Jenis
Yang
Digunakan
Sistem

		saringan dari bak atau saluran. Ada tipe yang menggunakan <i>screen</i> yang dapat digerakkan atau dipindahkan seperti pada saringan halus. Padatan yang tersaring dipisahkan secara kontinyu kedalam penampung, bukaan <i>screen</i> bervariasi antara 3 –20 mm tergantung kebutuhan.
<i>Comminutor</i>	Digabungkan dengan saringan kasar (<i>coarse screen</i>)	<i>Comminutor</i> terdiri dari peralatan seperti grinder dan memotong material yang tertangkap oleh <i>screen</i> . <i>Comminutor</i> dilengkapi dengan gigi pemotong atau peralatan pencacah dalam drum yang berputar.

3.3.2 Kriteria Perencanaan Bar Screen

Bar screen biasanya digunakan untuk fasilitas pengolahan air limbah dengan skala sedang atau skala besar. Pada umumnya terdiri dari *screen chamber* (bak) dengan struktur inlet dan outlet, serta peralatan saringan (*screen*). Bentuknya dirancang sedemikian rupa agar memudahkan untuk pembersihan serta pengambilan material yang tersaring.

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam merencanakan bar screen antara lain yakni :

- Kecepatan atau kapasitas rencana.
- Jarak antar bar
- Ukuran Bar (batang).
- Sudut Inklinasi.
- Head loss* yang diperbolehkan.

Kriteria perencanaan bar screen dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 : Kriteria Desain Untuk Bar Screen.

Kriteria Desain	Pembersihan Manual	Pembersihan Mekanis
Kecepatan aliran melalui <i>screen</i> (m/det)	0.3 – 0,6	0,6 – 1,0
Ukuran <i>Bar</i> (batang)		
Lebar (mm)	4 – 8	8 – 10
Tebal (mm)	25 - 50	50 - 75
Jarak antar bar (batang) (mm)	25 - 75	75 - 85
Slope dengan horizontal (derajad)	45 - 60	75 – 85
<i>Head loss</i> yang dibolehkan, <i>clogged screen</i> (mm)	150	150
Maksimum <i>head loss, clogged screen</i> (mm)	800	800

3.3.3 Head Loss di dalam Bar Screen

Head loss melalui *bar screen* (*rack*) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$H_L = \beta (w/b)^{4/3} hv \sin \theta$$

Persamaan 4.1 di atas hanya berlaku untuk saringan (*screen*) yang bersih. Untuk *head loss* melalui saringan bersih atau setengah kotor (*partly clogged*) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$H_L = \frac{V^2 - v^2}{2g} \left(\frac{1}{0,7} \right)$$

Selain rumus di atas *head loss* melalui *bar screen* dapat dihitung berdasarkan rumus orifice sebagai berikut :

$$H_L = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{CA} \right)^2$$

Dimana :

- H_L = *head loss* melalui *bar screen* (m)
- V = kecepatan aliran sebelum melewati *bar screen* (m/detik)
- v = kecepatan aliran pada saat melalui *bar screen* (m/detik)
- W = lebar *cross section* maksimum dari *bar screen* yang menghadap arah aliran (m)
- b = Bukaan *screen* (*clear spacing*) minimum dari *bar* (m)
- hv = *Velocity head* dari aliran yang menuju *bar* (m)
- θ = sudut *bar* (batang) dengan horisontal (derajat)
- Q = Debit aliran melalui *screen* (m³/detik)
- A = Luas efektif bukaan *screen* yang tercelup (m²)
- C = Koefisien *discharge*, besarnya 0,6 untuk *screen* bersih.

3.4 Penangkap (*Interceptor*)

Air limbah yang ke luar dari alat plambing mungkin mengandung bahan-bahan berbahaya, yang dapat menyumbat atau mempersempit penampang pipa, dan dapat mempengaruhi kemampuan IPAL. Untuk mencegah masuknya bahan-bahan tersebut ke dalam pipa, perlu dipasang suatu penangkap (*Interceptor*).

Bahan yang dapat menimbulkan kesulitan atau kerusakan pada pipa pembuangan antara lain :

- (1) minyak atau lemak (jumlah besar) dari dapur.
- (2) bahan-bahan bekas dari kamar operasi rumah sakit.
- (3) benang atau serat dari Laundry.
- (4) bahan bakar, minyak, gemuk dari bengkel.

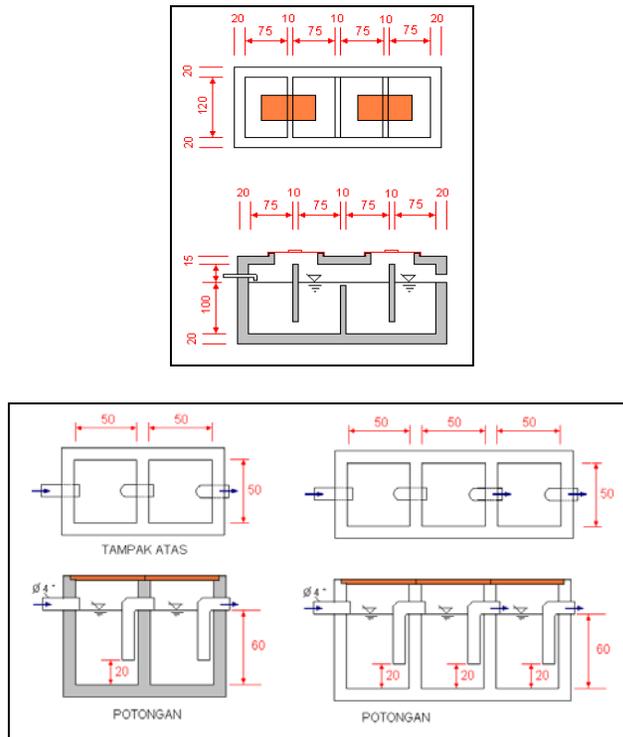
Suatu penangkap harus dipasang sedekat mungkin pada alat plambing yang dilayaninya, sehingga pipa pembuangan yang mungkin akan mengalami gangguan sependek mungkin. Karena ukurannya terlalu besar untuk dipasang di dalam ruangan dimana alat plambing itu berada, terpaksa dipasang di luar bangunan. Dalam hal ini pembuangan dari alat plambing tersebut ke penangkap harus disediakan khusus untuk itu dan tidak boleh digabungkan dengan air buangan lainnya.

3.4.1 Bak Pemisah Lemak (*Grease Removal*)

Minyak atau lemak merupakan penyumbang polutan organik yang cukup besar. Oleh karena itu untuk air limbah yang mengandung minyak atau lemak yang tinggi misalnya air limbah yang berasal dari dapur atau kantin perlu dipisahkan terlebih dahulu agar beban pengolahan di dalam unit IPAL berkurang. Kandungan minyak atau lemak yang cukup tinggi di dalam air limbah dapat

menghambat transfer oksigen di dalam bak aerasi yang dapat menyebabkan kinerja IPAL kurang maksimal.

Untuk menghilangkan minyak atau lemak dapat dilakukan dengan menggunakan bak pemisah lemak sederhana secara gravitasi. Salah satu contoh konstruksi bak pemisah lemak dapat dilihat pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7. Untuk merancang bak pemisah lemak sederhana, waktu tinggal di dalam bak pemisah lemak umumnya berkisar antara 30 – 60 menit.



Gambar 3.6 : Contoh Konstruksi Bak Pemisah Lemak Sederhana.



Gambar 3.7 : Foto Bak Pemisah Lemak.

3.4.2 Penangkap Minyak

Penangkap minyak biasanya dipasang di bengkel, dimana cairan mudah terbakar tercampur dalam air limbah. Tutup penangkap jenis ini harus rapat dan disediakan pipa ven khusus, agar gas-gas yang timbul dan mudah terbakar dapat dikeluarkan dengan aman.

3.4.3 Penangkap Gips

Bahan gips (plaster) biasanya digunakan dalam kamar operasi plastik, kamar operasi lainnya di rumah sakit, sebagai bahan pencetak atau pelindung/pengaman patah tulang. Bahan gips kalau tidak ditangkap dalam alat penangkap jenis ini akan masuk ke dalam pipa pembuangan dan kalau mengendap akan sulit membersihkannya dari dinding pipa.

3.4.4 Penangkap pada Laundry

Penangkap ini biasanya dipasang pada sistem air buangan dari tempat cuci pakaian (laundri), berfungsi untuk menangkap potongan kain, benang, kancing dan sebagainya agar tidak masuk dan menyumbat pipa pembuangan. Dalam bak penangkap dipasang suatu keranjang, terbuat dari saringan kawat, yang dapat diangkat untuk membuang kotoran tersebut di atas.

3.5 Bak Ekualisasi

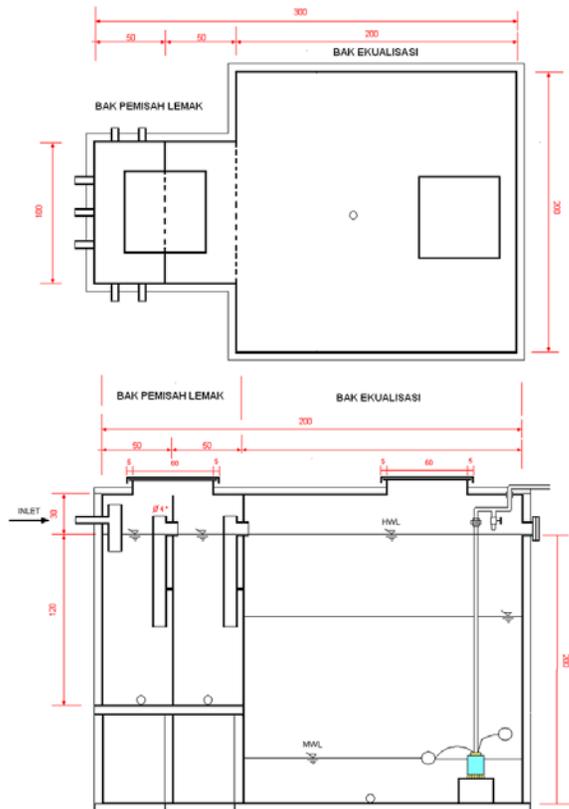
Untuk proses pengolahan air limbah rumah sakit atau layanan kesehatan, jumlah air limbah maupun konsentrasi polutan organik sangat berfluktuasi. Hal ini dapat menyebabkan proses pengolahan air limbah tidak dapat berjalan dengan sempurna. Untuk mengatasi hal tersebut yang paling mudah adalah dengan melengkapi unit bak ekualisasi.

Bak ekualisasi ini berfungsi untuk mengatur debit air limbah yang akan diolah serta untuk menyeragamkan konsentrasi zat pencemarnya agar hogen dan proses pengolahan air limbah dapat berjalan dengan stabil. Selain itu dapat juga digunakan sebagai bak aerasi awal pada saat terjadi beban yang besar secara tiba-tiba (*shock load*).

Waktu tinggal di dalam bak ekualisasi umumnya berkisar antara 6 – 10 jam. Untuk menghitung volume bak ekualisasi yang diperlukan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Volume Bak Ekualisasi (m}^3\text{)} = \text{Waktu Tinggal (Jam)} \times \text{Debit Air Limbah (m}^3\text{/jam)}$$

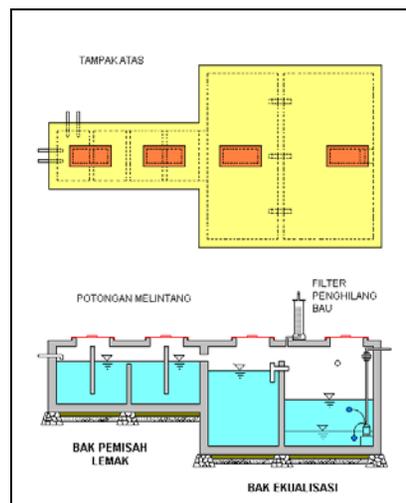
Salah satu contoh konstruksi bak ekualisasi dapat dilihat seperti pada Gambar 3.8 sampai dengan Gambar 3.12.



Gambar 3.8 : Contoh Disain Bak Pemisah Lemak dan Bak Ekualisasi Dari bahan Plat Baja.



Gambar 3.9 : Contoh Bak Pemisah lemak dan Bak Ekualisasi Dari Bahan Plat Baja.
(Kapasitas 30 M³ Per Hari)



Gambar 3.10 : Contoh Disain Bak Pemisah Lemak dan Bak Ekualisasi Dari bahan Beton Bertulang.



Gambar 3.11 : Contoh Bak pemisah Lemak dan Bak Ekualisasi Dari Bahan Beton Bertulang.
(Kapasitas 60 M³ Per Hari)



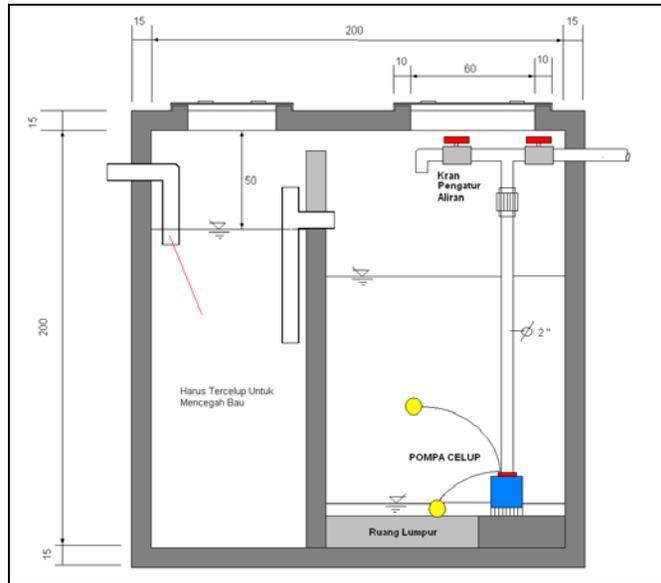
Gambar 3.12 : Contoh Bak Ekualisasi Terbuka Dari Bahan Beton Bertulang.

3.6 Pompa Air Limbah

Ada dua tipe pompa yang sering digunakan untuk pengolahan air limbah yaitu tipe pompa celup/benam (*submersible pump*) dan pompa sentrifugal. Pompa celup/benam umumnya digunakan untuk mengalirkan air limbah dengan *head* yang tidak terlalu besar, sedangkan untuk *head* yang besar digunakan pompa sentrifugal.

Contoh cara pemasangan pompa dan beberapa jenis pompa dapat dilihat seperti pada Gambar 3.13 sampai dengan Gambar 3.17.

<p>Gambar 3.13 : Contoh Konstruksi Pompa Air Limbah Dengan Motor Di Bawah Tanah.</p>	<p>Gambar 3.14 : Contoh Konstruksi Pompa Air Limbah Dengan Motor Di Atas Tanah.</p>



Gambar 3.15 : Contoh Pemasangan Pompa Celup Untuk IPAL.



Gambar 3.16 : Jenis Pompa Celup Yang Sering Digunakan Untuk Pengolahan Air Limbah.



Gambar 3.17 : Contoh Pemasangan Pompa Centrifugal Untuk IPAL.

3.7 Bak Pengendap Awal

Bak pengendap awal berfungsi untuk mengendapkan atau menghilangkan kotoran padatan tersuspensi yang ada di dalam air limbah. Kotoran atau polutan yang berupa padatan tersuspensi misalnya lumpur anorganik seperti tanah liat akan mengendap di bagian dasar bak pengendap. Kotoran padatan tersebut terutama yang berupa lumpur anorganik tidak dapat terurai secara biologis, dan jika tidak dihilangkan atau diendapkan akan menempel pada permukaan media biofilter sehingga menghambat transfer oksigen ke dalam lapisan biofilm, dan mengakibatkan dapat menurunkan efisiensi pengolahan.

Bak pengendap awal dapat berbentuk segi empat atau lingkaran.

Pada bak ini aliran air limbah dibuat agar sangat tenang untuk memberi kesempatan padatan/suspensi untuk mengendap.

Kriteria-kriteria yang diperlukan untuk menentukan ukuran bak pengendap awal antara lain adalah waktu tinggal hidrolis, beban permukaan (*surface loading*), dan kedalaman bak.

Waktu Tinggal Hidrolik (*Hydraulic Retention Time, WTH*) adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengisi bak dengan kecepatan seragam yang sama dengan aliran rata-rata per hari.

Waktu tinggal dihitung dengan membagi volume bak dengan laju alir masuk, satuannya jam. Nilai waktu tinggal adalah

$$T = 24 V/Q$$

Dimana :

T = waktu tinggal (jam)

V = volume bak (m^3)

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

Beban permukaan (*surface loading*), sama dengan laju alir (debit volume) rata-rata per hari dibagi luas permukaan bak, satuannya m^3 per meter persegi per hari.

$$V_0 = \frac{Q}{A}$$

Dimana :

V_0 = laju limpahan / beban permukaan (m^3 / m^2 hari)

Q = aliran rata-rata harian, m^3 per hari

A = total luas permukaan (m^2)

Bak pengendap awal atau primer yakni bak pengendap tanpa bahan kimia yang digunakan untuk mengmisahkan atau mengendapkan padatan organik atau anorganik yang tersuspensi di dalam air limbah. Umumnya dipasang sebelum proses pengolahan sekunder atau proses pengolahan secara biologis.

Beberapa kriteria desain bak pengendapan primer dapat dilihat pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6.

Tabel 3.5 : Kriteria Desain Bak Pengendapan Awal Atau Primer.

Parameter Desain	Harga (besaran)	
	Range	Tipikal
Waktu Tinggal Hidrolik (Jam)	1,5 – 2,5	2,0
<i>Overflow rate</i> (m ³ /m ² .hari)		-
Aliran Rata-rata	32 - 40	
Aliran puncak	80 - 120	100
<i>Weir Loading</i> (m ³ /m.hari)	125 - 500	250
Dimensi :		
Bentuk Persegi Panjang		
Panjang (m)	15 - 90	25 - 40
Lebar (m)	3 - 24	6 - 10
Kedalaman (m)	3 - 5	3,6
Kecepatan penggerak lumpur (m/menit)	0,6 – 1,2	1,0

Dimensi :		
Bentuk bulat (circular)		
Kedalaman (m)	3 - 5	4,5
Diameter (m)	3,6 - 60	12 - 45
Slope dasar (mm/m)	60 - 160	80
Kecepatan sludge scrapper (r/menit)	0,02 – 0,05	0,03

Sumber : Metcalf & Eddy, 1979.

Tabel 3.6 : Kriteria Desain Bak Pengendap Awal (Primer) Dan Bak Pengendap Akhir (Sekunder).

Parameter desain	Bak Pengendap Awal			Bak Pengendap Akhir
	Aliran Terpisah		aliran gabungan	
	Lumpur Aktif	Trickling Filter atau Biofilter		
Waktu Tinggal Hidrolik (Jam)	1,5	2,0	3,0	2,5
Material yang dipisahkan <i>Overflow rate</i> (m ³ /m ² .hari)	Padatan tersuspensi di dalam air limbah 25 - 30			Lumpur biomasa 20 - 30
<i>Weir Loading</i> (m ³ /m.hari)	≤ 250			≤ 150
Bentuk Persegi Panjang : Panjang / Lebar	3 : 1 – 5 : 1			sama
Kedalaman (m)	2,5 – 4,0			sama
Tinggi ruang bebas (cm)	40 -60			sama
Slope dasar	Bentuk bulat : 5/100 – 10/100			sama

(mm/m)		
	Bentuk Persegi panjang : 1/100 – 2/100	sama
Diameter pipa lumpur (mm)	≥ 200	sama

Sumber : Fujita - *Gesuidou Kougaku Enshu*, 1988.

Beberapa contoh bak pengendap dapat dilihat pada Gambar 3.18 dan Gambar 3.19..



Gambar 3.18 : Contoh Bak Pengendap Bentuk Bulat.



Gambar 3.19 : Contoh Bak Pengendap Bentuk Segi Empat.

3.8 Reaktor Biofilter Anaerob

Di dalam proses pengolahan air limbah dengan sistem anaerob aerob biofilter, kolam anaerob merupakan unit yang mana didalamnya terjadi proses penguraian air limbah secara anaerob oleh bakteri anaerob. Di dalam proses pengolahan air limbah secara anaerob, akan dihasilkan gas metan, amoniak dan gas H₂S yang menyebabkan bau busuk. Oleh karena itu untuk pengolahan air limbah rumah sakit atau fasilitas pelayanan kesehatan unit reaktor biofilter anaerob dibuat tertutup dan dilengkapi dengan pipa pengeluaran gas dan jika perlu dilengkapi dengan filter penghilang bau.

Reaktor biofilter dapat dibuat dari bahan beton bertulang, bahan plat baja maupun dari bahan *fiber reinforced plastic* (FRP). Untuk raktor biofilter dengan kapasitas yang besar umumnya dibuat dari bahan beton bertulang, sedangkan untuk kapasitas kecil atau sedang umumnya dibuat dari bahan FRPatau plat baja yang dilapisi dengan bahan anti karat.

Beberapa contoh kontruksi reaktor biofilter anaerob dapat dilihat seperti pada Gambar 3.20 sampai dengan Gambar 3.23.



Gambar 3.20 : Reaktor Biofilter Anaerob dari Bahan FRP yang dilapis dengan Beton Cor.



Gambar 3.21 : Reaktor Biofilter Dari Bahan FRP.



Gambar 3.22 : Reaktor Biofilter Anaerob Dari Bahan Beton Bertulang.



Gambar 3.23 : Contoh Filter Penghilang Abu Yang Dipasang Di Pipa Pembuangan Gas Reaktor Biofilter Anaerob.

3.9 Reaktor Biofilter Aerob

Di dalam proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilter anaerob-aerob, reaktor biofilter aerobik merupakan unit proses yang dipasang setelah proses biofilter anaerob. Konstruksi reaktor biofilter aerob pada dasarnya sama dengan reaktor biofilter anaerob. Perbedaannya adalah di dalam reaktor biofilter aerob dilengkapi dengan proses aerasi. Proses aerasi umumnya dilakukan dengan menghembuskan udara melalui difuser dengan menggunakan blower udara.

Di dalam reaktor biofilter aerob terjadi kondisi aerobik sehingga polutan organik yang masih belum terurai di dalam reaktor biofilter anaerob akan diuraikan menjadi karbon dioksida dan air.

Sedangkan amoniak atau amonium yang terjadi pada proses biofilter anaerob akan dioksidasi (proses nitrifikasi) akan diubah menjadi nitrat ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$). Selain itu gas H_2S yang terbentuk akibat proses anaerob akan diubah menjadi sulfat (SO_4) oleh bakteri sulfat yang ada di dalam biofilter aerob.

Konstruksi reaktor biofilter aerob dapat dibuat dari beton bertulang atau dari bahan plat baja atau bahan lainnya. Bentuk kolam tersebut dapat berbentuk tabung atau persegi. Di dalam kolam tersebut dilengkapi dengan peralatan pemasok udara.

Pada umumnya IPAL dengan proses biofilter anaerob-aerob yakni yang terdiri dari bak pengendap awal, reaktor biofilter anaerob, reaktor biofilter aerob serta bak pengendap akhir dibuat dalam bentuk yang kompak untuk menghemat ruang maupun biaya konstruksi.

Beberapa contoh IPAL biofilter anaerob-aerob tersebut dapat dilihat seperti pada Gambar 3.24 dan Gambar 3.25.



Gambar 3.24 : IPAL Biofilter Anaerob-Aerob Yang Dibuat Dari Bahan Plat Baja Yang Dilapisi Dengan Bahan Anti Karat.

(Lokasi : Rumah Bersalin St. Yusuf - Tanjung Priuk - Jakarta Utara)



Gambar 3.25 : IPAL Biofilter Anaerob-Aerob Bentuk Dari Bahan Beton Bertulang.

(Lokasi : RSUD Pangkep, Sulawesi Selatan)

3.10 Bak Pengendap Akhir

Lapisan biofilm yang ada di reaktor biofilter aerob kemungkinan dapat terlepas dan dapat menyebabkan air olahan menjadi keruh. Untuk mengatasi hal tersebut di dalam sistem biofilter anaerob-aerob, air limpasan dari reaktor biofilter aerob dialirkan ke bak pengendap akhir.

Bak pengendap akhir berfungsi untuk memisahkan atau mengendapkan kotoran padatan tersuspensi (TSS) yang ada di dalam air limbah agar air olahan IPAL menjadi jernih.

waktu tinggal hidrolis di dalam bak pengendap akhir umumnya sekitar 2-4 jam. Dibandingkan dengan proses lumpur aktif, lumpur yang berasal dari biofilter anerob-aerob lebih sedikit dan lebih mudah mengendap, karena ukurannya lebih besar dan lebih berat. Air limpasan (*over flow*) dari bak pengendap akhir relatif sudah jernih, selanjutnya dialirkan ke bak biokontrol dan selanjutnya dilairkan ke bak khlorinasi.

3.11 Peralatan Pemasok Udara

3.11.1 Tipe Difuser dan Aerator

Di dalam proses pengolahan air limbah dengan sistem anaerobik aerobik biofilter, harus dilengkapi dengan peralatan pemasok udara atau oksigen untuk proses aerasi di dalam kolam aerobik biofilter. Sistem aerasi dapat dilakukan dengan menggunakan blower dan difuser atau dengan sistem aerasi mekanik misalnya dengan aerator permukaan.

Beberapa contoh tipe difuser/aerator yang dipakai pada sistem ini dapat dilihat seperti pada Gambar 3.26 sampai dengan Gambar 3.28, sedangkan efisiensi perpindahan oksigen ke cairan pada kedalaman tertentu untuk beberapa jenis difuser/aerator dapat dilihat pada Tabel 3.7.



Gambar 3.26 : Beberapa Contoh Tipe Aerator Dan Difuser.

Cara yang paling mudah untuk pengecekan oksigen yang disuplai dalam kolam aerobik biofilter cukup atau tidak, dapat dilihat dari oksigen terlarut (DO) air limbah di kolam aerobik biofilter maupun di air hasil olahan. DO di dalam kolam aerobik biofilter yang direkomendasikan adalah antara 2 – 4 mg/l.

Tabel 3.7 : Jenis Jenis Difuser Dan Efisiensi Transfer Oksigen.

Tipe aerator dan difuser	Kedalaman Air (m)	Efisiensi Transfer Oksigen (%)
<i>Fine bubble</i>		
Tube-spiral roll	4,5	15 – 20
Domes-full floor coverage	4,5	27 – 31
<i>Coarse bubble</i>		
Tubes-spiral roll	4,5	10 – 31
Spargers-spiral roll	4,5	10 – 13
Jet aerators	4,5	8,6
Static aerators	4,5	15 – 24
	9	10 – 11
<i>Turbine</i>	4,5	25 – 30
<i>Surface aerator</i>		
<i>Low speed</i>	3,6	-
<i>High speed</i>	3,6	-



Gambar 3.27 : Difuser Tipe Tabung.



Gambar 3.28 : Difuser Karet Gelembung Halus.

3.11.2 Tipe Blower Udara

Beberapa tipe blower udara yang sering digunakan untuk pengolahan air limbah dengan sistem lumpur aktif antara lain yaitu :

1) *Roots and Submersible Roots Blower*

Roots Blower berbeda dengan pompa udara pada mekanisme memproduksi aliran udara yang lebih besar dari pompa udara. Rotor berotasi menyebabkan udara diserap dari inlet dan dikompres/dimampatkan keluar menuju outlet. Salah satu contoh *root blower* dapat dilihat pada Gambar 3.29.

Beberapa keunggulan *Root Blower* antara lain :

- Aliran udara stabil, sedikit variasi tekanan.
- Kemudi dengan kualitas tertinggi dan & gir teraplikasikan
- akurat.
- Udara bersih tanpa minyak lembab.
- Konstruksi sederhana & kuat, pemeliharaan mudah.
- Menstandarkan produk dengan gugus kendali mutu.



Gambar 3.29 : *Roots Blower*.

2) *Submersible Roots Blower*

- Tekanan: 1000jX6000mmAq, Aliran udara: 1. 8-10.2 m³ per min
- Tidak ada kebisingan, tidak ada alat *Soundproofing*
- Struktur kokoh untuk memastikan ketahanan.

Contoh *Submersible Roots Blower* dapat dilihat pada Gambar 3.30.



Gambar 3.30 : *Submersible Roots Blower*.

3) **Blower Udara Tipe Diafragma**

Blower udara tipe diafragma berbeda dengan Blower Udara tipe *Root Blower* atau *ring blower*. Tipe blower diafragma memproduksi aliran udara lebih kecil dibandingkan Blower Udara. Umumnya digunakan untuk pengolahan air limbah dengan kapasitas kecil. Bentuknya kecil dan kompak dengan dengan tingkat kebisingan yang rendah. Tipe yang banyak dipakai adalah HIBLOW seperti yang terlihat pada Gambar 3.31 .



Gambar 3.31 : Blower Udara Tipe HIBLOW.

4) **Submersible Aerator**

- Aerator Submersible sering digunakan pada bangunan pengolahan air limbah, terutama selama homogenisasi dan persamaan/equalisasi, mempersiapkan langkah, stabilisasi lumpur, langkah pengudaraan terakhir.

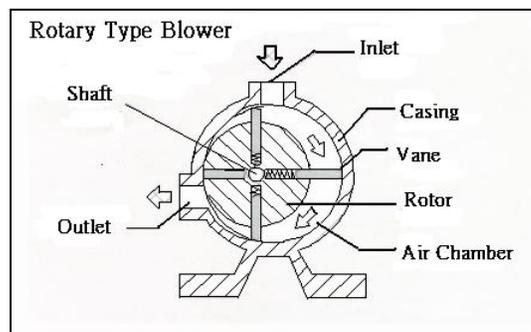
- Motor aerator tercelup mengaktifkan satu impeller/pendorong dan rotasi impeller/pendorong dalam vacuum untuk mendapatkan udara dari satu ruang hembus khusus.
- Air dan udara bercampur di saluran ruang aerasi. Arus campuran air dan udara dibebaskan dengan cepat oleh sentrifugal force. Daya: 2 - 75 HP, rate oksigen input sampai 85 kg O₂ / jam.
- *Rate transfer* oksigen tinggi sehubungan dengan gelembung kecil untuk pengolahan air limbah.
- Rate transfer oksigen dari unit jenis BHP lebih tinggi dibandingkan dari jenis pengudara lain.
- Tidak perlu untuk menjadi kosong atau bangunan ditutup untuk pekerjaan instalasi atau pemeliharaan.

Aplikasi:

- Homogenisasi
- Persamaan
- Langkah-langkah persiapan
- Stabilisasi lumpur
- Langkah-langkah pengudaraan terakhir

5) *Rotary Vane Blower*

Rotor berputar menyimpang (seperti diagram berikut) dengan baling-baling kedalam dan keluar di dalam lubang kecil. Baling-baling menempel bagian dalam permukaan casing (ruang), sehingga udara dihisap dari inlet dan dimampatkan ke outlet. Salah satu contoh *rotary blower* dapat dilihat pada Gambar 3.32.



Gambar 3.32 : *Rotary Vane Blower*.

3.12 Bak Biokontrol

Bak biokontrol adalah bak kontrol kualitas air olahan secara alami dengan menggunakan indikator biologis. Di dalam bak biokontrol biasanya ditaruh ikan mas atau ikan yang biasa hidup di air yang bersih. Bak biokontrol ini berfungsi untuk mengetahui secara cepat apakah air hasil olahan IPAL cukup baik atau belum. Jika ikan yang ada di dalam bak biokontrol hidup berarti air olahan IPAL relatif baik dan jika ikan yang ada di dalam bak biokontrol mati berarti air olahan IPAL buruk. Meskipun ikan di dalam bak biokontrol hidup belum berarti air olahan sudah memenuhi baku mutu. Untuk mengetahui apakah air olahan sudah memenuhi baku mutu atau belum harus

dianalisa di laboratorium. Salah satu contoh bak biokontrol dapat dilihat seperti pada Gambar 3.33 .



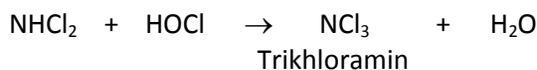
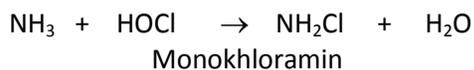
Gambar 3.33 : Salah Satu Contoh Bak Biokontrol.

3.13 Bak Klorinasi

Fungsi bak klorinasi adalah untuk mengontakkan senyawa disinfektan dengan air limbah untuk membunuh mikroorganisma patogen di dalam air limbah. Senyawa disinfektan yang sering digunakan adalah senyawa klorin misalnya kalsium hipoklorit atau natrium hipoklorit. Waktu kontak atau waktu tinggal di dalam bak klorinasi berkisar antara 10-15 menit.

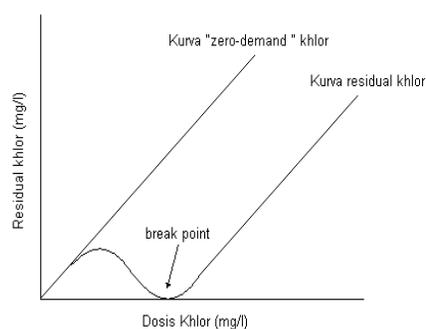
Cara pembubuhan senyawa disinfektan dapat dilakukan dengan menggunakan pompa dosing atau secara manual dengan pembubuhan secara gravitasi. Selain untuk proses desinfeksi pembubuhan senyawa klorin adalah untuk mereaksikan amoniak menjadi khloramine.

Reaksi amoniak dengan klorin adalah sebagai berikut:



Perbandingan ketiga bentuk khloramin itu sangat tergantung pada pH air. Monokhloramin lebih dominan pada pH > 8,5. Monokhloramin dan Dikhloramin keduanya ada pada pH antara 4,5 dan 8,5 dan Trikhloramin terbentuk pada pada pH < 4,5. Monokhloramin merupakan zat yang dominan yang terbentuk pada suasana pH yang ada dalam proses pengolahan air dan air buangan (pH = 6 – 9).

Percampuran klor dan amonia menghasilkan kurva antara dosis klor dengan residual klor seperti terlihat pada Gambar 3.34.



Gambar 3.34 : Kurva Kebutuhan Dosis Untuk Reaksi Klorin Dengan Amonia.

Dosis khlorin 1 mg/l menghasilkan residu khlorin 1 mg/l. Namun apabila terdapat amonia di dalam air, residu khlorin mencapai puncak (pembentukan terutama monokloramin, pada perbandingan khlorin dengan amonia-N antara 4:1 dan 6:1) kemudian menurun hingga minimum yang disebut *breakpoint*.

Breakpoint saat khloramin dioksidasi menjadi gas nitrogen, terjadi apabila perbandingan khlorin dengan amonia-N antara 7,5 : 1 dan 11 : 1.



Penambahan khlorin diluar *breakpoint* menjamin adanya *residual* khlor bebas. Untuk membunuh mikroorganisma patogen di dalam air limbah konsentrasi residual khlorine di dalam air dipertahankan sebesar 0,5 mg/l. Salah satu contoh bak khlorinasi dapat dilihat pada Gambar 3.35.



Gambar 3.35 : Contoh Bak Khlorinasi.

3.14 Persyaratan Konstruksi IPAL Sistem Anaerob Aerob Biofilter

3.14.1 Rancangan Lokasi (Site Plan) Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Sistem Biofilter Anaerob Aerob

A. Lokasi IPAL sebaiknya berada :

- (1) tidak terlalu jauh dari sumber/asal air limbahnya.
- (2) tidak mengganggu lingkungan, baik dari segi pandangan maupun dari segi kemungkinan bau.
- (3) tidak jauh dari saluran pembuangan lingkungan.

B. Posisi bangunan IPAL, dapat berada :

- (1) di atas tanah.
- (2) di bawah tanah.(misalnya di bawah halaman parkir, di bawah taman penghijauan).
- (3) di dalam bangunan (besmen).

3.14.2 Konstruksi Bangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Sistem Anaerob Aerob Biofilter

3.14.2.1 Struktur Bangunan IPAL

- Setiap bangunan IPAL, strukturnya harus direncanakan dan dilaksanakan dengan cukup kuat, kokoh, dan stabil dalam memikul beban/kombinasi beban dan memenuhi persyaratan keselamatan, kelayanan, dan umur layanannya.
- Kemampuan memikul beban diperhitungkan terhadap pengaruh-pengaruh aksi sebagai akibat beban muatan tetap maupun beban muatan sementara yang timbul akibat gempa, angin, pengaruh korosi, jamur dan sebagainya.
- Dalam perencanaan struktur bangunan IPAL harus diperhitungkan dapat memikul pengaruh gempa rencana sesuai dengan zona gempalnya.

- Apabila bangunan IPAL terletak pada lokasi tanah yang dapat terjadi likuifaksi (pergeseran), maka struktur bawah bangunan IPAL harus direncanakan mampu menahan gaya likuifaksi (pergeseran) tanah tersebut.
- Untuk menentukan tingkat keandalan struktur IPAL, harus dilakukan pemeriksaan keandalan bangunan IPAL secara berkala sesuai ketentuan dalam Pedoman/Petunjuk Teknis Tata Cara Pemeriksaan Keandalan Bangunan IPAL.
- Perbaikan atau penguatan struktur bangunan IPAL harus segera dilakukan sesuai rekomendasi hasil pemeriksaan keandalan bangunan IPAL, sehingga bangunan IPAL selalu memenuhi persyaratan keselamatan struktur.
- Perencanaan dan pelaksanaan perawatan struktur bangunan IPAL seperti halnya penambahan struktur dan/atau penggantian struktur, harus mempertimbangkan persyaratan keselamatan struktur sesuai dengan pedoman dan standar teknis yang berlaku.
- Pemeriksaan keandalan bangunan IPAL dilaksanakan secara berkala.
- Untuk mencegah terjadinya keruntuhan struktur yang tidak diharapkan, pemeriksaan keandalan bangunan harus dilakukan secara berkala sesuai pedoman/petunjuk teknis yang berlaku.

3.14.2.2 Persyaratan Bahan

- Bahan struktur yang digunakan harus sudah memenuhi semua persyaratan keamanan, termasuk keselamatan terhadap lingkungan dan pengguna bangunan IPAL, serta sesuai standar teknis (SNI) yang terkait.
- Bahan yang dibuat atau dicampurkan di lapangan, harus diproses sesuai standar tata cara yang baku untuk keperluan yang dimaksud.
- Dalam hal masih ada persyaratan lainnya yang belum tertampung, atau yang belum mempunyai SNI, digunakan standar baku dan/atau pedoman teknis.

3.14.2.3. Sistem Ventilasi.

A. Sistem Penghawaan Alami

Apabila IPAL terletak di atas tanah secara terbuka, penghawaannya harus tidak mengganggu terhadap lingkungannya.

B. Sistem Penghawaan Mekanis

- Apabila IPAL terletak di dalam bangunan (besmen), sistem penghawaan ruangan IPAL perlu mendapat perhatian.
- Kebutuhan oksigen pada proses IPAL harus ditambahkan ke dalam kebutuhan pertukaran udara dalam ruangan.
- Kebutuhan sistem penghawaan bila IPAL terletak di dalam bangunan, penghawaan harus dilakukan dengan sistem penghawaan mekanis.
- Besarnya pertukaran udara mengikuti SNI 03-6572-2001 Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung, atau edisi terbaru;

3.14.2.4 Sistem Pencahayaan

Apabila IPAL terletak di dalam bangunan (besmen), sistem pencahayaan darurat (normal + siaga) harus dipasang sesuai ketentuan yang berlaku.

3.14.2.5 Sistem Kelistrikan

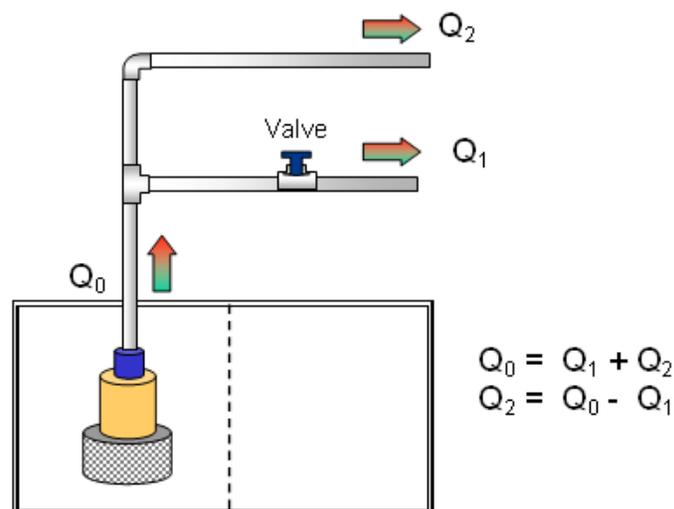
Sistem kelistrikan pada IPAL mengikuti SNI 04-0225-2000, Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2000).

BAB 4

PETUNJUK OPERASIONAL DAN PERAWATAN IPAL

4.1. Pengoperasian IPAL

1. Sebelum IPAL dioperasikan Reaktor Biofilter diisi dengan air bersih sampai penuh.
2. Seluruh peralatan mekanik dan elektrik harus dipastikan dalam keadaan berjalan dengan baik.
3. Air limbah yang berasal dari kegiatan rumah saki dialirkan ke bak penampung atau bak ekualisasi. Bak ekualisasi dilengkapi dengan pompa air limbah yang bekerja secara otomatis dengan menggunakan Radar atau pelampung air, fungsinya yaitu jika permukaan air limbah lebih tinggi melampaui batas level minimum maka pompa air limbah akan berjalan dan air limbah akan dipompa ke reaktor biofilter pada sistem IPAL. Jika permukaan air limbah di dalam bak ekualisasi mencapai level minimum pompa air limbah secara otomatis akan berhenti (mati).
4. Debit pompa air limbah diatur sesuai dengan kapasitas IPAL, dengan cara mengatur posisi bukaan *valve by pass* (lihat Gambar di bawah ini). Debit pompa air limbah (Q_2) diatur sesuai dengan kapasitas IPAL dengan cara mengatur debit Q_1 dengan cara manual.
5. Pada saat pertama kali IPAL dioperasikan (*Start Up*), Reaktor Biofilter harus sudah terisi air sepenuhnya.
6. Setelah itu dilakukan proses aerasi dan proses sirkulasi air dari bak pengendapan akhir ke bak pengendapan awal di dalam reaktor aerob.
7. Proses pembiakan mikroba dapat dilakukan secara alami atau natural karena di dalam air limbah domestik sudah mengandung mikroba atau mikroorganisme yang dapat menguraikan polutan yang ada di dalam air limbah atau dapat pula dilakukan *seeding* dengan memberikan benih mikroba yang sudah dibiakkan.



Gambar 4.1 : Diagram Pompa Air Limbah Dengan Valve By Pass.

8. Jika pengoperasian IPAL dilakukan dengan pembiakan mikroba secara alami, proses operasional yang stabil memerlukan waktu pembiakan (*seeding*) sekitar 1-2 minggu. Waktu adaptasi tersebut dimaksudkan untuk membiakkan mikroba agar tumbuh dan menempel pada permukaan media biofilter. Jika proses pembiakan mikroba (*seeding*) dilakukan dengan memberikan benih mikroba yang sudah jadi, proses dapat stabil dalam waktu 1 minggu.
9. Pertumbuhan mikroba secara fisik dapat dilihat dari adanya lapisan lendir atau biofilm yang menempel pada permukaan media.
10. Proses disinfeksi atau pembunuhan kuman yang mungkin masih ada didalam air hasil olahan IPAL dilakukan dengan memberikan khlor tablet kedalam Khlorinator. Jika khlor tablet di dalam khlorinator sudah habis harus diisi kembali.
Kebutuhan khlor yang akan digunakan dapat dihitung dengan rumus :

Kebutuhan Khlor =
 $Q \text{ inlet} \times \text{Dosis Khlor yang diharapkan} \times 1 \% \text{ kadar Khlor}$

Catatan :

Pengisian air limbah ke dalam reaktor dilakukan secara bertahap ke setiap ruang di dalam reaktor agar beban pada dinding reaktor merata, sehingga menyebabkan tekanan merata di bagian dinding reaktor. Pengisian dilakukan sampai semua ruangan di dalam reaktor terisi air limbah sampai penuh dan keluar ke bak kontrol outlet. Selanjutnya debit pompa air limbah yang masuk ke dalam reaktor dan pompa sirkulasi diatur sesuai dengan kapasitas perencanaan.

4.2 Pengoperasian Blower Udara

Unit IPAL ini dilengkapi dengan dua buah blower yang dioperasikan secara terus menerus (kontinyu). Blower udara dijalankan secara bergantian sehingga ada waktu istirahat blower udara agar *life time* lebih lama.

4.3 Pengoperasian Pompa Air Limbah Dan Pompa Sirkulasi

Unit IPAL dilengkapi *dua buah pompa air limbah (satu operasional, satu lagi back up)* dan dua buah pompa sirkulasi (pompa celup) yang dioperasikan secara terus menerus (kontinyu). Pompa air limbah dengan menggunakan Radar atau pelampung air secara otomatis akan berjalan jika permukaan air limbah di dalam bak ekualisasi cukup tinggi dan akan berhenti secara sendirinya jika permukaan air di dalam bak ekualisasi turun sampai level minimum, sedangkan pompa sirkulasi dijalankan secara kontinyu.

4.4 Perawatan IPAL

Unit IPAL ini tidak memerlukan perawatan yang khusus, tetapi ada beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain :

- Sedapat mungkin tidak ada sampah padat (plastik, kain, batu, softex, dll) yang masuk ke dalam sistem IPAL.
- Diusahakan sedapat mungkin tidak ada limbah dari bengkel (bahan bakar atau olie) masuk ke dalam sistem IPAL.
- Bak kontrol harus dibersihkan secara rutin minimal satu minggu sekali atau lebih baik sesering mungkin untuk menghindari terjadinya penyumbatan oleh sampah padat.
- Menghindari masuknya zat-zat kimia beracun yang dapat mengganggu pertumbuhan mikroba yang ada di dalam biofilter misalnya, cairan limbah perak nitrat, merkuri atau logam berat lainnya.
- Perlu dilakukan pengurasan lumpur pada bak ekualisasi dan bak pengendapan awal secara periodik untuk menguras lumpur yang tidak dapat terurai secara biologis. Pengurasan biasanya dilakukan minimal 6 bulan sekali atau disesuaikan dengan kebutuhan.
- Perlu dilakukan perawatan rutin terhadap pompa pengumpul, pompa air limbah, pompa sirkulasi serta blower yang dilakukan 3-4 bulan sekali.
- Perawatan rutin pompa dan blower udara dapat dilihat pada buku operasional dan perawatan dari pabriknya.

Agar operasional IPAL mencapai hasil maksimal, maka perlu dilakukan pemeriksaan harian rutin, seperti tabel berikut :

Tabel 4.1 : Cek List Pemeliharaan IPAL.

Tgl :
Petugas :
Paraf :

KOMPONEN SISTEM IPAL	Standar	Hasil Pemeriksaan
Pompa IPAL	Aliran lancar Elektroda fungsi	
Blower udara	Pressure gauge normal (2-2,5 bar) Tidak bising Vent belt tidak retak Filter udara bersih Lakher tidak bising Oli terisi $\frac{3}{4}$	
Panel kontrol	Tegangan 380 V Indikator lamp berfungsi Selector auto –manual fungsi Timer berfungsi	
Difuser	Gelembung udara merata	
Sirkulasi Pump	Berfungsi bergantian	
Bak Pengendap Awal	Tidak ada rising sludge pH normal (6 – 9)	
Biofilter Anaerob	Warna air tidak hitam Tidak terjadi short circuit Tidak terjadi dead zone Tumbuh biofilm pada media pH normal (6 - 9)	

Biofilter Aerob	Warna air coklat jernih Gelembung udara merata DO normal (2-4 ppm) Tumbuh biofilm pada media pH normal (6-9)	
Bak Pengendap Akhir	Kualitas jernih Tidak ada rising sludge pH normal (6 – 9)	
Desinfeksi	Tetes Chlorine lancar Sisa Chlor bebas (0,2-0,4 ppm)	
Meter air	Berfungsi Debit	

4.5 Penghentian Operasional IPAL

Jika pengoperasian IPAL akan dihentikan atau dipindahkan ke tempat lain, beberapa hal yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pompa air limbah di dalam Tangki Biofilter dihentikan, sedangkan blower dan pompa sirkulasi di dalam reaktor Pengolahan lanjut tetap dijalankan.
2. Selanjutnya air limbah di dalam Reaktor Biofilter Anaerob dipompa dan dimasukkan ke Reaktor Aerob (pengolahan Lanjut) sampai habis.
3. Air limbah di dalam Reaktor IPAL aerob terus di aerasi dan pompa sirkulasi tetap jalankan minimal selama 6 jam.
4. Setelah itu air di dalam reaktor biofilter boleh dibuang melalui lubang pengeluaran.

4.6 Permasalahan Yang Mungkin Timbul Dan Cara Penanganannya

Beberapa permasalahan yang mungkin terjadi di dalam pengoperasian instalasi pengolahan air limbah (IPAL) rumah sakit atau fasilitas layanan kesehatan dengan sistem biofilter anaerob-aerob, penyebab serta cara mengatasinya dapat dilihat seperti tertera pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 : Permasalahan Yang Mungkin terjadi di dalam Proses Biofilter Anaerob-aerob serta Cara Penanganannya.

Jenis Permasalahan	Penyebab	Cara mengatasi
Bak penampung atau bak kontrol air limbah luber	Pompa pengumpul air limbah tidak berjalan atau saringan pompa mengalami penyumbatan. Difuser tersumbat.	Cek aliran listrik pompa, cek posisi pelampung air otomatis pompa, bersihkan saringan pompa dari kotoran-kotoran atau sampah. Bersihkan sumbatan pada difuser
Aliran air limbah ke dalam reaktor lambat atau pelan.	Pompa air limbah di dalam bak ekualisasi kurang lancar, atau meter air tersumbat kotoran.	Cek pompa air limbah, cek saringan air limbah, cek screen meter air tersumbat atau tidak. Jika tersumbat harus dibersihkan.
Blower udara di bak aerobik bekerja namun tidak mengeluarkan hembusan udara.	Pipa saluran udara bocor	Cek valve/katup pada pipa, jika pipa bocor, Lepas pipa, dan kemudian lakukan penyambungan lagi.

Blower udara di bak aerobik tidak bekerja.	Listrik tidak mengalir.	Cek instalasi kelistrikan ke blower.
Terjadi pengapungan di bak aerobik	Udara kurang.	Cek aliran distributor udara dari blower.
Kualitas air limbah hasil olahan tidak memenuhi baku mutu lingkungan	Proses peruraian limbah berkurang karena aktifitas mikroba melemah. Hembusan udara di unit aerobik kurang. Debit air limbah melebihi kapasitas IPAL. Penggunaan detergen yang berlebih menyebabkan surfactan tinggi dan sifat air menjadi basa.	Atur debit air limbah rata-rata sesuai dengan kapasitas. Periksa blower dan pipa pengeluaran udara. Apabila terjadi kebocoran, pada pipa, lakukan perbaikan. Periksa kemungkinan pemborosan penggunaan air dari dalam gedung. Kurangi penggunaan detergen, tambahkan dosis chemical netralisir

Air olahan yang keluar masih bau	Suplai udara kurang, debit air limbah melebihi kapasitas IPAL.	Cek blower sudah bekerja dengan baik atau tidak.
----------------------------------	--	--

4.7 Pelaksanaan K3 Bagi Pelaksana Di IPAL

Pengelolaan air limbah harus menyertakan upaya perlindungan dan pemantauan kesehatan dan keselamatan kerja bagi pelaksana IPAL, baik yang berhubungan langsung maupun tidak langsung dengan air limbah secara menyeluruh dan terus menerus.

Beberapa aspek Jaminan pelaksanaan kesehatan dan keselamatan kerja yang harus dipenuhi/dicakup agar pelaksana IPAL senantiasa sehat prima dan bekerja dengan baik, meliputi :

- a. Kelengkapan peralatan K3 untuk digunakan saat bekerja, antara lain:
 - Alat Pelindung Diri (APD) saat bekerja di IPAL dan laboratorium swapantau lingkungan, antara lain : pakaian kerja, sarung tangan, earplug, masker, sepatu, kacamata pelindung, sarana cuci tangan.
 - Tersedianya APAR.
 - Pengawasan penerapan ergonomi saat bekerja di IPAL.
 - Tersedianya alat pengangkat dan pengangkut untuk mengangkat dan mengangkut mesin-mesin dan benda-benda berat.
 - Tersedianya Prosedur Tetap (Protap) / Standar Operational Procedure (SOP) dalam bekerja dan mengoperasikan peralatan.
- b. Jaminan kesehatan bagi pelaksana, antara lain:
 - Pemberian extrafooding bagi pelaksana IPAL
 - Pemeriksaan kesehatan bagi operator IPAL secara berkala min. 1 tahun terhadap darah, HBsAg, telinga, kulit, saluran pernafasan, sistem pencernaan dan lain-lain. Selain itu dilengkapi Data Rekam Medik dari operator IPAL seperti pada Gambar di lampiran 3 dan 4.
 - Pemberian imunisasi bagi petugas operator, khususnya imunisasi hepatitis.

4.8 Sistem Tanggap Darurat IPAL

Pengoperasian dan pemeliharaan IPAL pada fasilitas pelayanan kesehatan dapat menyebabkan resiko baik berupa kecelakaan kerja, kesehatan kerja dan resiko kerugian ekonomi. Hal ini disebabkan dalam pengoperasian dan pemeliharaan IPAL akan melakukan tindakan kerja, menggunakan bahan berbahaya dan beracun seperti minyak, bahan kimia dll. Untuk itu, pada bangunan dan area lokasi IPAL serta manajemen pengelolaannya perlu dilengkapi dengan sistem tanggap darurat yang berguna untuk meminimalisir resiko yang timbul.

Sistem tanggap darurat yang perlu dilengkapi meliputi :

1. Sistem keamanan fasilitas

Untuk memenuhi sistem keamanan fasilitas ini, maka IPAL perlu :

- Memiliki sistem penjagaan 24 jam
- Mempunyai pagar pengaman atau penghalang lain yang memadai
- Mempunyai tanda (sign-sign) yang mudah terlihat dari jarak 10 meter
- Mempunyai penerangan yang memadai disekitar lokasi

2. Sistem pencegahan terhadap kebakaran

Kebakaran pada pengoperasian IPAL sering kali terjadi disebabkan oleh konslet arus listrik akibat pemilihan instalasi yang tidak berkualitas, kerusakan akibat gigitan tikus, tumpahan bahan bakar dll. Untuk itu, dalam bangunan IPAL perlu :

- Memasang sistem arde (Electronic-Spark Grounding)
- Memasang tanda peringatan dari jarak 10 meter
- Memasang peralatan pendeteksi bahaya kebakaran otomatis selama 24 jam :
 - Alat deteksi peka asap (smoke sensing alarm)
 - Alat deteksi peka panas (heat sensing alarm)
- Tersedia alat pemadam kebakaran
- Jarak antara bangunan yang memadai bagi kendaraan pemadam kebakaran

3. Sistem pencegahan tumpahan bahan kimia

Pengoperasian IPAL menggunakan bahan kimia yang bersifat dapat mudah terbakar, reaktif dan korosif. Untuk itu terhadap bahan kimia tersebut perlu dilakukan sebagai berikut :

- Harus mempunyai rencana, dokumen dan petunjuk teknis operasi (Material Safety Data Sheet) pencegahan tumpahan bahan kimia IPAL seperti kaporit untuk desinfeksi.
- Pengawasan harus dapat mengidentifikasi setiap kelainan yang terjadi, seperti : kerusakan, kelalaian operator, kebocoran, tumpahan dll
- Penggunaan bahan penyerap yang sesuai :
 - Absorben (serbuk gergaji dll)
 - Air bersih untuk cucian dll.

4. Sistem penanggulangan keadaan darurat

Kejadian darurat dalam pengoperasian dan pemeliharaan IPAL terjadi secara tiba-tiba. Untuk itu, maka guna mencegah dan meminimalisir dampak yang terjadi, perlu dilakkan hal-hal sbb :

- Ada Petugas (koordinator) penanggulangan keadaan darurat IPAL
- Jaringan komunikasi atau pemberitahuan kepada :
 - Tim penanggulangan keadaan darurat RS (Pos Satpam)
 - Dinas pemadam kebakaran setempat
 - Pelayanan kesehatan darurat (IGD)
- Memiliki prosedur evakuasi
- Mempunyai peralatan penanggulangan kedaann darurat

5. Sistem pengujian peralatan

Pengoperasian peralatan mekanikal dan elekrikal IPAL akan menghadapi gangguan sistem akibat kerusakan peralatan yang tidak terkontrol pemeliharaannya. Untuk itu perlu dilakukan upaya sbb :

- Semua alat pengukur, peralatan operasi pengolahan dan perlengkapan pendukung operasi harus diuji minimum sekali dalam setahun
- Hasil pengujian harus dituangkan dalam berita acara

6. Pelatihan karyawan

Reaksi cepat dan tepat perlu diterapkan dalam pengoperasian IPAL guna untuk mencegah dan mengendalikan dampak akibat keadaan darurat IPAL. Peran operator dalam kondisi ini akan menempati posisi strategis. Untuk itu, maka terhadap operator IPAL perlu dibekali pengetahuan melalui pelatihan sbb :

- Pelatihan dasar : seperti pengenalan limbah, peralatan pelindung, keadaan darurat, prosedur inspeksi, P3K, K3 dan peraturan perundangan limbah B3
- Pelatihan khusus : seperti pemeliharaan peralatan, pengoperasian alat pengolahan, laboratorium lingkungan , dokumentasi dan pelaporan

BAB 5

MONITORING DAN EVALUASI

5.1 Monitoring

Monitoring adalah suatu kegiatan yang dilakukan untuk memantau proses IPAL yang dilakukan secara terus menerus, dan dilakukan secara berkala dalam periode tertentu per satuan waktu seperti mingguan, bulanan dan tahunan. Hal ini sangat bergantung pada seberapa besar pengaruh aspek yang dimonitor tersebut terhadap keberlangsungan proses IPAL. Aspek yang perlu dilakukan monitoring dari IPAL sistem anaerobik aerobik biofilter ini meliputi monitoring terhadap sistem, kondisi dan fungsi peralatan IPAL yang merupakan satu kesatuan yang saling mempengaruhi.

Kegiatan monitoring IPAL ini secara teknis dan manajemen pengelolaan meliputi :

5.1.1 Monitoring Kualitas Air Limbah

Dalam monitoring kualitas air limbah IPAL sebaiknya memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- Gunakan laboratorium lingkungan rujukan (diakui BPLHD/Dinas LH/Dinas Kesehatan Provinsi/Kabupaten)
Misal : Lab. Dinkes, Lab. BTKL, Lab. BPLHD, Lab. Swasta yang terakreditasi dll
- Sampel dikirim ke laboratorium yang terdiri dari sampel air limbah influen dan efluen yang masing – masing sebanyak 2 liter. Pengambilan sampel harus sesuai dengan Standar yang berlaku atau SOP pengambilan sampel limbah cair (untuk memudahkan komparasi dan perhitungan efisiensi).
- Gunakan parameter standar limbah RS secara nasional atau yang berlaku di daerah setempat.
- Frekuensi sampling dan analisis minimal 1 kali/bulan
- Baku mutu air limbah mengacu pada baku mutu nasional sesuai dengan Keputusan MenLH No. 58 Tahun 1995 (Lampiran B) atau baku mutu wilayah yang ditetapkan pemerintah Daerah setempat.

Monitoring kualitas air limbah secara lengkap diuraikan seperti pada lampiran 3, sedang Jenis monitoring kualitas air limbah IPAL meliputi :

- **Monitoring Berkala :**

Monitoring yang dimaksud adalah melakukan pengambilan sampel air limbah pada inlet dan outlet IPAL untuk dilakukan pemeriksaan di laboratorium lingkungan guna memenuhi ketentuan yang berlaku. Monitoring berkala ini dilakukan dengan frekuensi minimal 1 kali setiap bulan, dengan parameter mengacu pada Kep. MenLH No.58/MENLH/10/1995 (Lampiran B) tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Rumah Sakit, atau mengikuti baku mutu limbah cair sesuai dengan peraturan daerah setempat yang berlaku.

- **Monitoring Rutin (swapantau) :**

Monitoring yang dimaksud adalah melakukan pengukuran lapangan (*in situ*) setiap hari pada kualitas air limbah yang bertujuan untuk memonitoring kinerja sistem IPAL guna memudahkan melakukan tindakan dini (*early warning*) dalam perbaikan sistem tersebut. Parameter yang dipantau biasanya pH, suhu, Amonia, *Dissolved Oxygen (DO)*, $KMnO_4$, TSS, dan debit air limbah dengan frekuensi harian. Lokasi monitoring pada outlet, inlet dan pada tangki aerasi. Secara umum monitoring rutin ini dapat menjaga agar sistem tetap berjalan secara optimal.

Tabel. 5.1 : Lembar Kontrol Swapantau IPAL

KOMPONEN SISTEM IPAL	PARAMETER	Tgl	Tgl	Tgl	Tgl
LAUNDRY	Suhu				
	Aliran				
	pH				
	TSS				
GREASE TRAP	Suhu				
	Aliran				
	pH				
	TSS				
SEPTIK TANK	Suhu				
	Aliran				
	pH				
	TSS				
BAK PENGENDAP AWAL	Suhu				
	Aliran				
	pH				
	TSS				
BIOFILTER ANAEROB	Suhu				
	Aliran				
	pH				
	TSS				
BIOFILTER AEROB	Suhu				
	Aliran				
	pH				
	DO				
	Amonia				
	KmnO ₄				
BAK PENGENDAP AKHIR AKHIR	Suhu				
	Aliran				
	pH				
	TSS				
	Amonia				
	KMNO ₄				
BAK CHLOR/DESINFEKSI	KADAR CHLOR				
DEBIT	M ³ /Hari				
INDIKATOR IKAN	HIDUP				

5.1.2 Monitoring debit air limbah

- Menggunakan pendekatan rasional (angka konversi 85-95 % air bersih terpakai menjadi air limbah)
- Pastikan tidak ada kebocoran pipa air bersih
- Data gunakan rekening air PDAM/flow meter pompa
- Satuan M3/hari atau M3/Bulan
- Pencatatan pada flow meter (pencatatan perbedaan kenaikan angka pada flow meter per hari/minggu/bulan) – membutuhkan kedisiplinan tenaga
- Hasil perhitungan debit dan fluktuasinya disajikan dalam laporan bulanan

5.1.3 Monitoring Efisiensi Kinerja Air Limbah

- Data yang dibutuhkan hasil analisis lab air limbah influen dan efluen
- Perhitungan efisiensi menggunakan satuan % dan diterapkan untuk parameter BOD

- Rumus/formulasi :

$$\% \text{ efisiensi BOD} = \frac{(\text{BOD inlet} - \text{BOD outlet})}{\text{BOD Inlet}} \times 100 \%$$

- Hasil perhitungan efisiensi dan fluktuasinya disajikan dalam laporan bulanan

5.1.4 Monitoring Beban Cemar Air Limbah

- Data yang dibutuhkan adalah Rata-rata debit harian dan kualitas air limbah influen dan efluen
- Beban cemaran (BOD loading) hasil perhitungan dianalisis dengan membandingkan dengan BOD loading hasil perencanaan (BOD loading desain IPAL). BOD loading hasil perhitungan harus di bawah BOD loading desain, bila nilainya melebihi maka kinerja IPAL over loading (pengaruh ke kualitas air limbah efluen)

Rumus/formulasi :

$$\text{BOD loading (Kg BOD/hari)} = \text{Debit (M3/hari)} \times \text{konsentrasi BOD influen (mg/l)}$$

- Hasil perhitungan BOD loading dan fluktuasinya disajikan dalam laporan bulanan

5.1.5 Monitoring satuan produksi air limbah

- Data yang dibutuhkan : debit air limbah, jumlah tempat tidur (TT) dan data BOR rata-rata bulanan
- Perhitungan produksi air limbah menggunakan Liter/TT/hari
- Rumus/formulasi :

$$\text{Sat Prod. AL} = \frac{\text{Volume air limbah (M3/bln)}}{(\text{Jml TT} \times \% \text{ BOR})} : 30 \text{ hari}$$

- Hasil perhitungan satuan produksi air limbah dan fluktuasinya disajikan dalam laporan bulanan

5.2 Evaluasi

Pelaksanaan evaluasi kinerja IPAL sistem anaerobik aerobik biofilter dapat dilakukan terhadap sistem, kondisi dan fungsi peralatan. Beberapa pendekatan evaluasi dimaksud meliputi :

- 1) Membandingkan kualitas air limbah dengan baku mutu air limbah
- 2) Membandingkan kondisi sistem IPAL dengan standar teknis/kriteria desain IPAL
- 3) Membandingkan kondisi dan fungsi peralatan IPAL dengan data teknis yang tercantum dalam manual alat
- 4) Analisis kecenderungan atas fluktuasi debit, efisiensi, beban cemaran dan satuan produksi air limbah

Hasil monitoring dan evaluasi di atas sebaiknya disusun dalam laporan tertulis sebagai bentuk dokumentasi untuk keperluan pemenuhan sistem manajemen air limbah pada fasilitas pelayanan kesehatan.

BAB 6

PENUTUP

Fasilitas pelayanan kesehatan dapat menghasilkan air limbah/limbah cair dan juga limbah padat medis serta klinis yang sebagian bersifat infeksius. Upaya pengelolaan air limbah/limbah cair khususnya di fasilitas pelayanan kesehatan di Indonesia dengan berbagai proses pengolahan bertujuan agar limbah yang dibuang (efluen) dapat memenuhi persyaratan.

Fasilitas pelayanan kesehatan telah melakukan upaya pengolahan melalui berbagai macam cara, baik yang sederhana hingga pengolahan yang lengkap dan terpadu. Dengan keadaan tersebut maka fasilitas pengolahan yang masih sederhana secara bertahap harus ditingkatkan kemampuannya, sedangkan yang proses pengolahannya sudah lengkap perlu dilakukan pengolahan dan operasionalisasi dengan lebih baik agar dapat dicapai hasil efluen lebih optimal serta memenuhi persyaratan maupun ketentuan yang berlaku.

Sumber daya manusia/ketenagaan yang bertugas mengelola limbah fasilitas kesehatan sebagian belum memadai, baik aspek kuantitas maupun kualitas. Diperlukan upaya meningkatkan kapabilitas SDM pengelola IPAL tersebut melalui pengadaan dan pendidikan maupun pelatihan bidang kesehatan lingkungan.

Pembiayaan yang dialokasikan oleh pihak penyelenggara fasilitas pelayanan kesehatan belum mampu meningkatkan kapabilitas SDM pengelola IPAL. Diperlukan peningkatan penyediaan pembiayaan yang lebih proporsional untuk mengoptimalkan kapabilitas SDM tersebut.

Pemilihan sistem pengolahan air limbah pada pelayanan kesehatan harus dilakukan dengan cermat dan harus disesuaikan dengan beberapa aspek seperti biaya, luas lahan, mudah dalam pengoperasian, mudah pemeliharaannya dan keunggulan sistem. Sistem pengolahan air limbah anaerob aerob biofilter merupakan salah satu sistem yang sesuai untuk proses pengolahan air limbah pada pelayanan kesehatan.

Buku pedoman ini diharapkan mampu meningkatkan kemampuan SDM untuk menjaga performa sistem IPAL biofilter sistem anaerob aerob yang digunakan di fasilitas pelayanan kesehatan. Performa sistem IPAL yang baik akan menghasilkan efluen yang sesuai baku mutu yang ditetapkan dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No 58 Tahun 1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Rumah Sakit.

Fasilitas pelayanan kesehatan dapat menghasilkan air limbah/limbah cair dan juga limbah padat medis serta klinis yang sebagian bersifat infeksius. Upaya pengelolaan air limbah/limbah cair khususnya di fasilitas pelayanan kesehatan di Indonesia dengan berbagai cara atau proses pengolahan pada dasarnya telah dilakukan oleh pihak penyelenggara fasilitas pelayanan kesehatan agar limbah yang dibuang melalui efluen proses pengolahannya dapat memenuhi persyaratan.

Perlu disadari bahwa sarana dan fasilitas pengolahan air limbah/limbah cair yang dimiliki oleh fasilitas kesehatan dari proses pengolahan yang sederhana hingga proses pengolahan yang lengkap telah dilakukan. Dengan keadaan tersebut maka fasilitas pengolahan yang masih sederhana secara bertahap harus ditingkatkan kemampuannya, sedangkan yang proses pengolahannya sudah lengkap perlu dilakukan pengolahan dan operasionalisasi dengan lebih baik agar dapat dicapai hasil efluen lebih optimal serta memenuhi persyaratan maupun ketentuan yang berlaku.

Ketenagaan yang bertugas mengelola limbah fasilitas kesehatan sebagian belum memadai, baik aspek kuantitas maupun kualitas, sehingga masih perlu ditingkatkan baik melalui pengadaan dan pendidikan maupun pelatihan bidang kesehatan lingkungan.

Pembiayaan yang dialokasikan oleh pihak penyelenggara fasilitas kesehatan untuk pengelolaan limbah belum mendapat perhatian sebagaimana mestinya, relatif masih terbatas dan perlu diupayakan peningkatan penyediaan pembiayaannya untuk lebih proporsional mengingat bahwa akibat pengelolaan serta operasional pembiayaan yang rendah menimbulkan pengelolaan yang tidak optimal juga.

Dengan buku pedoman ini diharapkan adanya peningkatan kemampuan proses pengolahan air limbah/limbah cair yang menggunakan biofilter sistem anaerob aerob serta peningkatan manajemen pengelolaan air limbah/limbah cair di fasilitas kesehatan. Dengan demikian fasilitas pengolahan yang ada dapat dioperasionalkan lebih optimal dan efisien serta mendapatkan efluen yang memenuhi syarat baku mutu yang berlaku.

DAFTAR PUSTAKA

- ----, "Gesuidou Shissetsu Sekkei Shisin to Kaisetsu", Nihon Gesuidou Kyokai, 1984.
- Archer, D.B., and B.H. Kirsop, 1991. The microbiology and control of anaerobic digestion, pp. 43-91, in : Anaerobic Digestion : A Waste Treatment Technology, A. Wheatly, Ed. Elsevier Applied Science, London, U.K.
- Arvin, E., and P. Harremoës. "Concepts and Models for Biofilm Reactor Performance", *Water Science and Technology*. Vol. 22, No. 1/2. P.171-192. 1990.
- Balch, W.E., G.E. Fox, L.J. Magnum, C.R. Woese, and R.S. Wolfe. 1979. Methanogenesis Reevaluation of a unique biological group. *Microbiol. Rev.* 142 : 260-296.
- Barners, D., and P.A. Fitzgerald. 1987. Anaerobic wastewater treatment processes, pp.57-113, in : Environmental Biotechnology, C.F. Forster and D.A.J. Wase, Eds. Ellis Horwood, Chichester, U.K.
- Benefield, Larry D. (1980). *Biological Process Design for Wastewater Treatment. United States of America*: Prentice-Hall, Inc.
- Bitton G. (1994), "Wastewater Microbiology". Wiley-Liss, New York.
- Christensen, F.R., Kristensen, G.H., and Jansen, J. la Cour (1988). *Biofilm Structure – An Important and Neglected Parameter in Waste Water Treatment*, Water Pollution Research and Control, Brighton. *Water Science Technology*. 21(8/9) 805-814.
- Eckenfelder, W.W., and Ford, D.L., "Water Pollution Controls", The Pemberton Press, Jenkins Publishing, Austin, Texas, 1970.
- Fair, Gordon Maskew et.al., "Elements Of Water Supply And Waste Water Disposal", John Willey And Sons Inc., 1971.
- Flathman, P.E., "Bioremediator: Field Experience", CRC Press. Inc, USA, 1994.
- Grady, C.P.L and Lim, H.C.(1980). "Biological Wastewater Treatment", Marcel Dekker Inc. New York.
- Hamer, M. J., "Water And Waste water Technology", Second Edition, John Wiley And Sons, New York, 1986.
- Hikami, Sumiko., "Shinseki rosouhou ni yoru mizu shouri gijutsu (Water Treatment with Submerged Filter)", *Kougyou Yousui* No.411, 12,1992.
- Hittlebaugh, J.A., and R.D. Miller, "Operational Problems With Rotating Biological Contactor", *Journal Water Pollution Control Fed.* 53:1283-1293. 1981.
- Horan, N.J.(1990). "Biological Wastewater Treatment systems : Theory and Operation". University of Leeds, England. John Wiley & Sons Ltd. Eckenfelder, W.W., and Ford, D.L., "Water Pollution Controls", The Pemberton Press, Jenkins Publishing, Austin, Texas, 1970.
- Huser, B.A. , K. Wuhrmann, and A.J.B. Zehnder. 1982. Methanotrix soehngeni gen.nov.sp.nov., A new acetotrophic non-hydrogen-oxidizing bacterium. *Arch, Microbiology*. 50 : 1067-1079.
- Keputusan Gubernur DKI Jakarta Nomor 30 tahun 1999, tentang Pembuangan Limbah Cair.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia, Nomor : KEP-58/MENLH/12/1995 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Rumah Sakit.
- Kirsop, B.H. 1984. Methanogenesis. *Crit. Rev. Biotechnology*. 1 : 109-159.
- Koster, I.W. 1988. Microbial, chemical and technological aspects of the anaerobic degradation of organic pollutants, pp.285-316, in : *Bioremediation Systems*, Vol. I, D/L. Wise, Ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
- McInernay, M.J., M.P. Bryant, R.B. Hespel, and J.W. Costerton. 1981. *Syntrophomonas wolfey*, gen. nov. sp. Nov., An anaerobic syntrophic, fatty acid-oxidizing bacterium. *Applied Environmental Microbiology*. 50 : 1395-1403.
- Metclaf And Eddy , "Waste Water Engineering", Mc Graw Hill 1991.
- Nusa Idaman Said , Teknologi Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Biofilm Tercelup, JTL, DTL, BPPT, 2000.
- *Metabolism In Micoorganism*. *Water Research*. 4: 393-450.
- Painter, H.A. 1970. *A Review of Literature On Inorganic Nitrogen Metabolism In Micoorganism*. *Water Research*. 4: 393-450.

- Painter, H.A., and J.E. Loveless. 1983. *Effect of Temperature and pH Value On The Growth Rate Constants Of Nitrifying Bacteria in the Activated Sludge Process*. Water Research. 17: 237-248. 1983.
- Polprasert, .1989. *Organic Wastes Recycling*. Wiley, Chichester, U.K.
- Reynolds, T.D., "*Unit Operations And Processes In Environmental Engineering*", B/C Engineering Division, Boston, 1985.
- Sahm, H. 1984. Anaerobic wastewater treatment. Adv. Biochem. Eng. Biotechnol. 29: 84-115.
- Smith M.S., and R.A. Mah, 1978. Growth and methanogenesis by Methanosarcina strain 227 on acetate and methanol. Applied Environmental Microbiology. 36 : 870-879.
- Speece, R.E. 1983. Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment. Environmental Science Technology. 17 : 677-683.
- Sterritt, R.M., and J.N. Lester. 1988. *Microbiology for Environmental and Public Health Engineers*. E.&F.N. Spon, London.
- U.S. EPA, 1975. *Process Design Manual for Nitrogen Control*. Office of Technology Transfer, Washington , D.C.
- Verstraete, W., and E. Van Vaerenbergh, "*Heterotrophic Nitrification By Arthrobacter Sp*", Journal Bacteriology. 110:955-961. 1972.
- Viessman W, Jr., Hamer M.J., "*Water Supply And Pollution Control*", Harper & Row, New
- Vogels, G.D., J.T. Keltjensand, and C. Van der Drift. 1988. Biochemistry of methan production , pp.707-770, in : *Biology of Anaerobic Microorganisms*, A.J.B. Zehnder, Ed. Wiley, New York.
- Winkler, M.A. 1981. *Biological Treatment of Wastewater*. John Willey and Sons, New York.
- Zeikus, J.G. 1980. Chemical and fuel production by anaerobic bacteria. Annual Rev. Microbiology. 34 : 423-464.