

PETUNJUK TEKNIS

Pengelolaan Limbah Cair Kegiatan Perhotelan

PEMERINTAH KOTA SURABAYA
DINAS LINGKUNGAN HIDUP





Kata Pengantar

Kegiatan perhotelan di Indonesia bisa dikatakan mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Ini bisa dilihat berdasarkan peningkatan jumlah kunjungan wisatawan dan bertumbuhnya jumlah hotel di Indonesia. Tidak hanya pada wilayah-wilayah yang menjadi barometer wisata nasional, namun banyak wilayah lain yang mengalami pertumbuhan pariwisata yang terbilang pesat.

Kegiatan perhotelan menghasilkan air limbah yang dapat berdampak negatif terhadap lingkungan jika tidak diolah sebelum dibuang ke badan air. Setiap hotel menghasilkan air limbah dengan debit dan karakteristik yang berbeda, sesuai dengan kegiatan-kegiatan yang dilakukan. Polutan pada air limbah akan terakumulasi dan menyebabkan kemampuan *self-purification* badan air terlampaui sehingga terjadi eutrofikasi. Pencemaran air bukan hanya membawa dampak negatif pada kesehatan, namun juga menyebabkan kelangkaan sumber air bersih.

Buku ini disusun sebagai panduan dan referensi bagi pelaku usaha perhotelan dalam mengelola air limbah yang dihasilkan dari kegiatan usahanya dari penentuan teknologi pengolahan, perencanaan, konstruksi, hingga *operational and maintenance*. Pemilihan alternative teknologi pengolahan air limbah dan pengoperasian IPAL yang tepat akan menjamin terolahnya air limbah hingga memenuhi baku mutu efluen yang ditetapkan. Diharapkan, dengan dikelolanya air limbah sesuai dengan peraturan yang berlaku, peningkatan kegiatan perhotelan tidak menambah beban pencemar di badan air dan menimbulkan masalah lingkungan.

Semoga buku ini dapat menjadi acuan pengelolaan air limbah kegiatan perhotelan yang aplikatif dan bermanfaat. Dalam penyelesaiannya, penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis menampung setiap kritik dan saran untuk penyempurnaan buku ini.

Surabaya, April 2019

Dinas Lingkungan Hidup

Daftar Isi

Kata Pengantar	i
Daftar Isi	iii
1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Kegiatan Perhotelan	3
1.3 Klasifikasi Hotel	4
2 Air Limbah Kegiatan Perhotelan	11
2.1 Karakteristik Air Limbah	11
2.2 Debit Air Limbah	12
2.3 Baku Mutu Air Limbah	13
2.4 Parameter Kualitas Air Limbah	15
3 Unit Pengolahan	19
3.1 Alternatif Pengolahan	19
3.1.1 Alternatif 1	19
3.1.2 Alternatif 2	21
3.2 Unit yang Direncanakan	22
3.2.1 <i>Grease Trap</i>	22
3.2.2 <i>Settler</i> (Bak Pengendap Awal)	23
3.2.3 <i>Anaerobic Filter</i>	24
3.2.4 <i>Activated Sludge</i>	25
3.2.5 Disinfeksi	27
3.2.6 Skema Pengolahan	28

4 Perencanaan IPAL.....	29
4.1 Contoh Perhitungan	29
4.1.1 Grease Trap.....	29
4.1.2 Bak Pengendap Awal	31
4.1.3 <i>Anaerobic Filter</i> (AF)	35
4.1.4 Aerasi.....	41
4.1.5 Disinfeksi	43
4.1.6 Rekapitulasi	45
4.2 Air Limbah Konsentrasi Sedang	46
4.3 Air Limbah Konsentrasi Tinggi	47
5 Operasi dan Perawatan	51
5.1 <i>Grease Trap</i>	51
5.2 Bak Pengendap Awal.....	51
5.3 <i>Anaerobic Filter</i>	52
5.4 Aerasi	53
5.5 Disinfeksi	53
6 Teknologi Bersih	51
6.1 Pendahuluan	51
6.2 Contoh Produksi Bersih pada Kegiatan Perhotelan	65
Daftar Pustaka	v

1 Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Jumlah wisatawan yang berkunjung di Surabaya terus mengalami peningkatan. Sepanjang tahun 2018, tercatat sekitar 27 juta wisatawan berkunjung ke Surabaya. Wisatawan domestik mencapai 25 juta orang dan sisanya, sekitar 5,4% dari total pengunjung, merupakan wisatawan mancanegara. Salah satu factor pendukungnya ialah *event-event* internasional yang diadakan oleh Pemerintah Kota Surabaya (Anonim, 2018). Secara umum bisa dikatakan bahwa hunian atau *occupancy rate* untuk hotel kelas ekonomi berada di kisaran 70% dan untuk kelas menengah berada di kisaran 80%. Angka ini tidak hanya didorong oleh jumlah wisatawan lokal dan mancanegara, namun juga adanya dukungan pemerintah setempat yang menyelenggarakan beberapa *event* di hotel, seperti seminar, rapat, dan kegiatan MICE (*Meeting, Incentive, Convention, and Exhibition*) lainnya (Anonim, 2015).

Hotel adalah suatu perusahaan yang dikelola oleh pemiliknya dengan menyediakan pelayanan makanan, minuman dan fasilitas kamar untuk tidur kepada orang-orang yang melakukan perjalanan dan mampu membayar dengan jumlah yang wajar sesuai dengan pelayanan yang diterima tanpa adanya perjanjian khusus (Sulistiyono, 2011). Peningkatan jumlah wisatawan ini melatarbelakangi banyak investor yang melakukan penetrasi dengan membangun hotel. Hingga akhir bulan September 2018, terdapat 3 hotel bintang tiga yang meliputi 426 kamar (dengan 2 hotel menyediakan 177 kamar) dan satu hotel bintang empat dengan 249 kamar yang baru beroperasi. Diperkirakan pada tahun 2020 jumlah kamar hotel bintang tiga akan mencapai sekitar 7.900 kamar,

hotel bintang empat 5.800 kamar, dan hotel bintang lima 3.000 kamar (Salanto, 2018).

Dalam melakukan kegiatannya, hotel menghasilkan air limbah yang dapat dikategorikan sebagai air limbah domestik karena aktivitasnya relatif sama dengan pemukiman. Air limbah yang tidak diolah dan langsung dibuang ke badan air akan berdampak negatif baik terhadap lingkungan maupun kesehatan masyarakat di sekitarnya. Polutan yang terakumulasi akan menyebabkan kemampuan *self-purification* badan air terlampaui. Pada gilirannya, hal ini dapat menyebabkan kelangkaan sumber air bersih dan terjadinya eutrofikasi. Eutrofikasi menyebabkan kandungan oksigen terlarut dalam air berkurang sehingga membahayakan makhluk hidup di dalamnya (Siswanto dkk, 2014).

Berdasarkan permasalahan di atas, dibutuhkan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) untuk mengolah air limbah hotel sebelum dibuang ke badan air. Perencanaan IPAL disesuaikan dengan beban polutan dalam air limbah yang terdiri dari debit air limbah dan konsentrasi polutan di dalamnya. Dalam mempertimbangkan penggunaan alternative pengolahan air limbah, hal-hal yang harus diperhatikan adalah biaya yang murah (baik konstruksi maupun *operational and maintenance*), kemudahan operasi dan perawatan, kebutuhan energy (berhubungan dengan biaya operasi rendah), penggunaan bahan kimia (terutama *chlorine* atau jenis desinfektan berbahaya lain), dan kebutuhan lahan yang tidak luas (Mara, 2004). Pada akhirnya, diharapkan peningkatan jumlah hotel dan kegiatan perhotelan di Kota Surabaya tidak menjadikan pencemaran lingkungan meningkat.

1.2 Kegiatan Perhotelan

Fungsi utama usaha perhotelan ialah memberikan pelayanan kepada tamu berupa tempat tinggal atau tempat menginap yang bersifat sementara. Lokasi hotel biasanya dipilih di wilayah yang merupakan pusat bisnis, objek wisata, pusat budaya/adat, pusat pemerintahan, dan sebagainya.

Hotel merupakan bagian integral dari usaha pariwisata, dengan menyediakan fasilitas-fasilitas sebagai berikut (Suwithi, 2013):

- a. Pelayanan kamar tidur (*room service*)
- b. Pelayanan makanan dan minuman (*food and baverage*)
- c. Pelayanan pencucian baju (*laundry service*)
- d. Pelayanan penunjang lainnya; seperti tempat rekreasi, fasilitas olahraga/kebugaran, pusat bisnis, ruang seminar, dan lain-lain



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 1.1 Contoh Fasilitas Hotel; (a) kamar tidur; (b) makanan dan minuman; (c) pencucian baju; (d) kolam renang

Sumber: Anonim, 2018

Menurut Sembiring (2015), ada beberapa jenis fasilitas kamar hotel berdasarkan jumlah ranjang, antara lain:

- a. *Single room*, yaitu kamar untuk satu orang dengan satu buah tempat tidur berukuran *single*
- b. *Twin room*, yaitu kamar untuk dua orang dengan dua buah tempat tidur berukuran *single*
- c. *Double room*, yaitu kamar untuk dua orang dengan satu buah tempat tidur berukuran *double*
- d. *Triple room* atau *family room*, yaitu kamar untuk keluarga yang dilengkapi dengan dua jenis tempat tidur, biasanya satu tempat tidur jenis *double* dan satu buah tempat tidur berukuran *single*

1.3 Klasifikasi Hotel

Menurut Peraturan Menteri Pariwisata dan Ekonomi Kreatif Nomor PM.53/HM.001/MPEK/2013 tentang Standar Usaha Hotel, Usaha hotel adalah usaha penyediaan akomodasi berupa kamar-kamar di dalam suatu bangunan, yang dapat dilengkapi dengan jasa pelayanan makan dan minum, kegiatan hiburan dan/atau fasilitas lainnya secara harian dengan tujuan memperoleh keuntungan. Standar usaha hotel mencakup aspek produk, pelayanan dan pengelolaan yang meliputi kriteria mutlak dan kriteria tidak mutlak standar usaha hotel.

Tabel 1.1 Kriteria Mutlak Standar Usaha Hotel

No.	Standar Hotel	Aspek	Unsur
1.	Hotel Bintang	Produk	<ul style="list-style-type: none">- Bangunan- Penanda arah- Parkir- Lobby

No.	Standar Hotel	Aspek	Unsur
			<ul style="list-style-type: none"> - Toilet umum - <i>Front office</i> - Fasilitas makan dan minum - Kamar tidur tamu - Dapur/<i>pantry</i> - Kantor - Utilitas - Pengelolaan limbah
		Pelayanan	<ul style="list-style-type: none"> - Kantor depan - Tata graha - Area makan dan minum - Keamanan - Kesehatan
		Pengelolaan	<ul style="list-style-type: none"> - Organisasi - Manajemen - Sumber daya manusia
2.	Hotel Nonbintang	Produk	<ul style="list-style-type: none"> - Bangunan - Area penerima tamu - Toilet umum - Kamar tidur tamu dan kamar mandi - Kantor - Utilitas - Pengelolaan limbah
		Pelayanan	<ul style="list-style-type: none"> - Kantor depan - Tata graha - Makan dan minum - Keamanan - Kesehatan

No.	Standar Hotel	Aspek	Unsur
		Pengelolaan	<ul style="list-style-type: none"> - Organisasi - Pemeliharaan kesehatan dan lingkungan - Sumber daya manusia

Sumber: Peraturan Menteri Pariwisata dan Ekonomi Kreatif Nomor PM.53/HM.001/MPEK/2013

Tabel 1.2 Fasilitas Penunjang Hotel Bintang

No.	Standar Hotel	Aspek	Unsur
1.	Hotel Bintang Satu	Produk	<ul style="list-style-type: none"> - Lift - Daerah penyimpanan (<i>storage</i>) - Ruang karyawan
		Pelayanan	Restoran
		Pengelolaan	Program pemeliharaan dan perbaikan peralatan
2.	Hotel Bintang Dua	Produk	<ul style="list-style-type: none"> - Lift - Ruang rapat - Daerah penyimpanan (<i>storage</i>) - Ruang karyawan
		Pelayanan	<ul style="list-style-type: none"> - Binatu - Restoran
		Pengelolaan	Program pemeliharaan dan perbaikan peralatan
3.	Hotel Bintang Tiga	Produk	<ul style="list-style-type: none"> - Taman atau Landscape - Lift - Fasilitas makan dan

No.	Standar Hotel	Aspek	Unsur
			minum (F&B outlets) - Sarana olah raga, rekreasi dan kebugaran - Ruang rapat - Dapur - Daerah penyimpanan (<i>storage</i>) - Ruang karyawan - Perawatan dan perbaikan peralatan (<i>workshop</i>)
		Pelayanan	- Binatu - Restoran - Pelayanan bisnis (<i>business center</i>)
		Pengelolaan	Program pemeliharaan dan perbaikan peralatan
4.	Hotel Bintang Empat	Produk	- Taman atau Landscape - Area belanja (<i>Shopping centre</i>) - Lift - Fasilitas makan dan minum (F&B outlets) - Sarana olah raga, rekreasi dan kebugaran - Ruang rapat - Ruang perjamuan (<i>function room</i>) - Dapur - Daerah penyimpanan

No.	Standar Hotel	Aspek	Unsur
			<p>(<i>storage</i>)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ruang periksa kesehatan - Ruang karyawan - Perawatan dan perbaikan peralatan (<i>workshop</i>)
		Pelayanan	<ul style="list-style-type: none"> - Binatu - Restoran - Pelayanan bisnis (<i>business center</i>)
		Pengelolaan	<ul style="list-style-type: none"> - Kemitraan dan penggunaan - Program pemeliharaan dan perbaikan peralatan
5.	Hotel Bintang Lima	Produk	<ul style="list-style-type: none"> - Taman atau Landscape - Area belanja (<i>Shopping centre</i>) - Lift - Fasilitas makan dan minum (F&B outlets) - <i>Public bar</i> - Sarana olah raga, rekreasi dan kebugaran - Ruang rapat - Ruang perjamuan (<i>function room</i>) - Dapur - Dapur special (<i>specialty kitchen</i>)

No.	Standar Hotel	Aspek	Unsur
			<ul style="list-style-type: none"> - Binatu - Daerah penyimpanan (<i>storage</i>) - Ruang periksa kesehatan - Ruang karyawan - Perawatan dan perbaikan peralatan (<i>workshop</i>)
		Pelayanan	<ul style="list-style-type: none"> - Binatu - <i>Specialty restaurant</i> - Pelayanan bisnis (<i>business center</i>)
		Pengelolaan	<ul style="list-style-type: none"> - Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) - Program kemitraan - Program pemeliharaan dan perbaikan peralatan

Sumber: Peraturan Menteri Pariwisata dan Ekonomi Kreatif Nomor PM.53/HM.001/MPEK/2013

Jenis kegiatan yang dilakukan berpengaruh pada kualitas air limbah yang dihasilkan, sehingga perlu penyesuaian penggunaan teknologi pengolahan air limbah. Hal ini didasarkan pada sumber-sumber penghasil air limbah pada masing-masing kegiatan perhotelan. Sedangkan debit air limbah hotel diperkirakan dari jumlah kamar hotel, persen okupansi, jumlah karyawan, dan fasilitas penunjang yang ada.

Menurut Ekaningrum (2016), berdasarkan ukuran dan jumlah kamar, hotel dibedakan menjadi:

- a. *Small hotel*, adalah hotel dengan kapasitas kurang dari 150 kamar
- b. *Average hotel*, adalah hotel dengan kapasitas 150 – 300 kamar
- c. *Above average hotel*, adalah hotel dengan kapasitas 300 – 600 kamar
- d. *Large hotel*, adalah hotel dengan kapasitas lebih dari 600 kamar

2 Air Limbah Kegiatan Perhotelan

2.1 Karakteristik Air Limbah

Selain untuk penggunaan mandi (*shower*), toilet dan wastafel untuk keperluan tamu dan karyawan, pemakaian air di sebuah hotel juga dilihat dari fasilitas-fasilitas pendukung lain. Fasilitas yang dimaksud berupa kolam renang, restoran/café/ dapur, musholla, *bath up*, spa, layanan *laundry*, lounge (menyediakan minuman untuk tamu hotel), perawatan tanaman di dalam dan luar hotel, *hydrant* dan sprinkler untuk pencegahan kebakaran, ketersediaan kolam ikan, air mancur, atau properti-properti serupa yang memakai air secara terus menerus (Ridwan, 2014).

Air limbah hotel dapat dikategorikan sebagai air limbah domestik karena air limbah bersumber dari kegiatan sehari-hari manusia. Kuantitas dan kualitas air limbah dipengaruhi oleh banyaknya pengunjung hotel yang menginap, jumlah karyawan, dan fasilitas-fasilitas penunjang yang disediakan. Air limbah domestik terdiri dari 99,9% air dan 0,1% padatan. 70% padatan tersebut merupakan material organik seperti protein, karbohidrat, dan lemak. Sedangkan sisanya merupakan material anorganik seperti grit, logam dan garam (Mara, 2004). Air limbah dibedakan sebagai *blackwater* dan *greywater*. *Blackwater* adalah campuran urin, faces, dan air *flushing* toilet. *Blackwater* mengandung bakteri patogen dari faces dan nutrient dari urin. Sedangkan *greywater* adalah total volume air yang dihasilkan dari pencucian makanan, baju, maupun mandi, namun tidak dari toilet (Tilley *et al.*, 2014).

Tabel 2.1 Debit Air Limbah Hotel

Unit	Debit (L/orang.hari)	
	Range	Tipikal
Tamu	150 – 230	190
Karyawan	30 – 57	40

Sumber: Tchobanoglous et al., 2004

Tabel 2.2 Tipikal Komposisi Air Limbah Domestik

Parameter	Satuan	Konsentrasi		
		Rendah	Medium	Tinggi
BOD	mg/L	110	190	350
COD	mg/L	250	430	800
TSS	mg/L	120	210	400
Minyak & Lemak	mg/L	50	90	100
Amoniak	mg/L	12	25	45
Total Coliform	Jml/100mL	10^6-10^8	10^7-10^9	10^7-10^{10}

Sumber: Tchobanoglous et al., 2004

Besar kecilnya konsentrasi air limbah yang dihasilkan berbanding lurus dengan jumlah kegiatan yang ada di hotel. Air limbah dari hotel non bintang dan hotel bintang satu dapat dikategorikan sebagai air limbah konsentrasi rendah. Air limbah dari hotel bintang dua dan bintang tiga dapat dikategorikan sebagai air limbah konsentrasi sedang. Sedangkan air limbah dari hotel bintang empat dan hotel bintang lima dapat dikategorikan sebagai air limbah konsentrasi tinggi.

2.2 Debit Air Limbah

Berdasarkan Tabel 2.1 tipikal air limbah yang dihasilkan pengunjung hotel adalah 190 L/orang.hari dan karyawan 40 L/orang.hari. Dengan asumsi okupansi tertinggi adalah 70%;

jumlah *single bed* 30%; dan rasio kamar/karyawan adalah 1/0,6; dapat dihitung prediksi debit air limbah sebagai berikut.

Tabel 2.3Prediksi Debit Air Limbah

Jenis Hotel	Unit	Jumlah	Debit (Q) (L/hari)	Q total (L/hari)	Q total (m ³ /hari)
Small hotel	Kamar	150	33.915	37.515	37,5
	Staff	90	3.600		
Average hotel	Kamar	300	83.790	90.990	91
	Staff	180	7.200		
Large hotel	Kamar	600	135.660	150.060	150,1
	Staff	360	14.400		

Sumber: Hasil Perhitungan

Perhitungan debit air limbah hotel di lapangan harus dihitung berdasarkan rata-rata penggunaan air bersih pada hari okupansi tertinggi. Dimana dibutuhkan data penggunaan air pada setiap jamnya. Untuk keperluan domestik, rata-rata air sekitar 80 hingga 90 persen dari pemakaian air bersih berpotensi menjadi air limbah (Tchobanoglous *et al.*, 2014; Mara, 2004; Setiyono, 2009).

2.3 Baku Mutu Air Limbah

Efluen pengolahan IPAL yang dibuang ke badan air harus memenuhi standar kualitas air yang ditetapkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.68/Menlhk-Setjen/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.

Tabel 2.4 Baku Mutu Air Limbah Domestik Tersendiri

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6 – 9
BOD	mg/L	30

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	30
Minyak dan Lemak	mg/L	5
Amoniak	mg/L	10
Total Coliform	Jumlah/100mL	3000
Debit	L/orang/hari	100

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.68/Menlhk-Setjen/2016

Baku mutu pada Tabel 2.4 hanya berlaku untuk debit air limbah maksimum 100 L/orang/hari. Diperlukan perhitungan baku mutu untuk debit air limbah yang melebihi debit maksimum tersebut. Perhitungan didasarkan pada rumus berikut.

$$V_1M_1 = V_2M_2$$

Keterangan:

V_1 = volume awal

M_1 = konsentrasi awal

V_2 = volume setelah pengenceran

M_2 = konsentrasi setelah pengenceran

Contoh Perhitungan untuk *Small Hotel* pada Parameter BOD

Jumlah kamar = 150

Jumlah *single bed* = 30% × 150 = 45 kamar

Jumlah *double bed* = 70% × 150 = 105 kamar

Jumlah tamu (okupansi tertinggi) = ((105×2)+45)×70%
= 178,5 ≈ 179 orang

Jumlah karyawan = 90 orang

Jumlah orang (okupansi tertinggi) = 179 + 90

= 269 orang

$$\begin{aligned} \text{Debit maksimum } (V_1) &= 100 \text{ L/orang/hari} \times 269 \text{ orang} \\ &= 26.900 \text{ L/hari} \\ &= 26,9 \text{ m}^3/\text{hari} \\ [\text{BOD}] \text{ awal } (M_1) &= 30 \text{ mg/L} \\ \text{Debit air limbah } (V_2) &= 37,5 \text{ m}^3/\text{hari} \\ [\text{BOD}] \text{ akhir } (M_2) &= 21,5 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Perhitungan debit maksimum (V_1) dan debit air limbah (V_2) didasarkan pada prediksi jumlah tamu dan karyawan hotel sesuai dengan jenis hotel tersebut.

Tabel 2.5 Baku Mutu Air Limbah

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum		
		<i>Small Hotel</i>	<i>Average Hotel</i>	<i>Large Hotel</i>
pH	-	6 – 9	6 – 9	6 – 9
BOD	mg/L	21,5	22,7	27,6
COD	mg/L	71,7	75,8	91,9
TSS	mg/L	21,5	22,7	27,6
Minyak & Lemak	mg/L	3,6	3,8	4,6
Amoniak	mg/L	7,2	7,6	9,2
Total Coliform	Jumlah /100mL	2.152	2.274	2.758

Sumber: Hasil Perhitungan

2.4 Parameter Kualitas Air Limbah

Derajat Keasaman (pH)

Merupakan konsentrasi ion hidrogen di dalam air sebagai indikasi apakah air tersebut bersifat asam atau basa. Air limbah dengan pH di bawah 4 – 5 (asam) dan di atas 9 (basa) sulit untuk diolah. Dibutuhkan bak netralisasi untuk

menambahkan larutan penyangga dan menetralkan pH (Sasses, 2009). pH yang sesuai untuk berlangsungnya kehidupan biologis adalah 6 – 9 (Tchobanoglous *et al.*, 2004). Perubahan pH pada air sangat berpengaruh terhadap proses fisika, kimia, dan biologi dari mikroorganisme yang hidup di dalam air. Derajat keasaman sangat berpengaruh terhadap daya racun bahaya pencemaran dan kelarutan beberapa gas, serta menentukan bentuk zat di dalam air (Gazali dkk., 2013).

Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Merupakan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan mikroorganisme untuk mengoksidasi material karbon (bahan organik). Jika tersedia cukup oksigen, dekomposisi biologis bahan organik secara serobik dapat berlangsung hingga semua bahan organik terdegradasi (Tchobanoglous *et al.*, 2014). BOD digunakan sebagai indikator terjadinya pencemaran dalam suatu perairan. Nilai BOD yang tinggi (melebihi baku mutu) mengindikasikan bahwa perairan tersebut sudah tercemar (Agustina, 2013).

Chemical Oxygen Demand (COD)

COD menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan dalam mengoksidasi bahan organik secara kimiawi, baik bahan organik *biodegradable* maupun *non-biodegradable*. Nilai COD selalu lebih besar dari BOD karena COD menggambarkan jumlah total bahan organik dalam air (Agustiningih, dkk., 2012). Tipikal rasio BOD/COD untuk air limbah domestik yang belum diolah adalah 0,3 hingga 0,8. Jika rasio di bawah 0,3, berarti air limbah tersebut mengandung komponen toksik atau dibutuhkan aklimatisasi mikroorganisme untuk stabilisasi air limbah sebelum diolah (Tchobanoglous *et al.*, 2014).

Total Suspended Solid (TSS)

Merupakan jumlah padatan yang tidak terlarut dalam air (padatan tersuspensi). TSS dapat menimbulkan endapan lumpu dan kondisi anaerobik pada perairan jika air limbah langsung dibuang ke badan air (Tchobanoglou *et al.*, 2014). Selain itu, TSS juga menyatakan jumlah bahan organik (BOD, COD, TOC, dll) maupun anorganik. Kandungan TSS memiliki hubungan erat dengan kecerahan perairan. Kederadaan padatan tersuspensi dapat menghalangi penetrasi cahaya yang masuk ke perairan (Gazali *et al.*, 2013).

Minyak dan Lemak

Berdasarkan sifat fisiknya, minyak dan lemak merupakan senyawa yang tidak larut dalam air namun dapat larut dalam pelarut yang kepolarannya lemah atau pelarut non-polar (Ngili, 2009). Minyak mempunyai berat jenis lebih kecil dari air sehingga akan membentuk lapisan tipis di permukaan air. Kondisi ini dapat mengurangi konsentrasi oksigen dalam air karena fiksasi oksigen bebas terhambat (Hardiana dan Mukimin, 2014). Minyak dan lemak harus dipisahkan dari air limbah sebelum memasuki unit pengolahan karena dapat mengganggu proses pengolahan biologis dan menyumbat pipa atau media filter yang digunakan.

Amoniak

Amoniak merupakan senyawa nitrogen yang berubah menjadi ion NH_4 pada pH rendah. Amoniak berasal dari air limbah domestik dan pakan ikan. Amoniak juga berasal dari proses denitrifikasi pada dekomposisi air limbah oleh mikroba pada kondisi anerobik (Sastrawijaya, 2000). Nitrogen merupakan komponen penting dalam sintesis protein, data konsentrasi nitrogen dibutuhkan untuk mengevaluasi

kemungkinan pengolahan air limbah dengan proses biologis. Apabila nitrogen tidak cukup, maka diperlukan penambahan nitrogen agar air limbah dapat diolah. Namun, untuk mengontrol pertumbuhan alga pada badan air, dibutuhkan penyisihan nitrogen pada efluen pengolahan sebelum dibuang (Tchobanoglous *et al.*, 2014).

Total Coliform

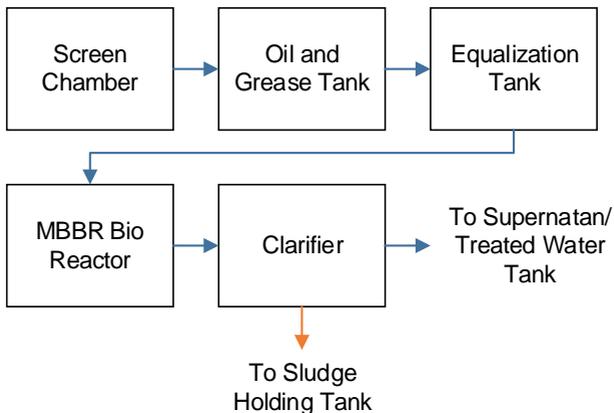
Coliform termasuk dalam bakteri pathogen yang dapat menyebabkan penyakit (Wahyuni, 2015). Coliform adalah indikator bakteri yang dianggap penting dalam kualitas biologis. Bakteri coliform digunakan untuk memantau tingkat keamanan air dari kemungkinan adanya bakteri pathogen. Identifikasi bakteri dalam air dapat berfungsi sebagai evaluasi efektivitas metode desinfeksi air (Fatemeh *et al.*, 2014). Semakin tinggi tingkat kontaminasi bakteri coliform maka semakin tinggi pula kehadiran bakteri pathogen lain (Natalia *et al.*, 2014).

3 Unit Pengolahan

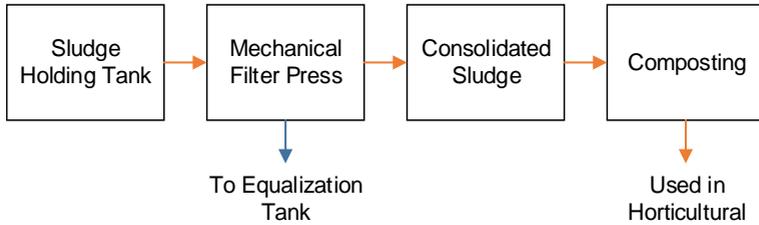
3.1 Alternatif Pengolahan

3.1.1 Alternatif 1

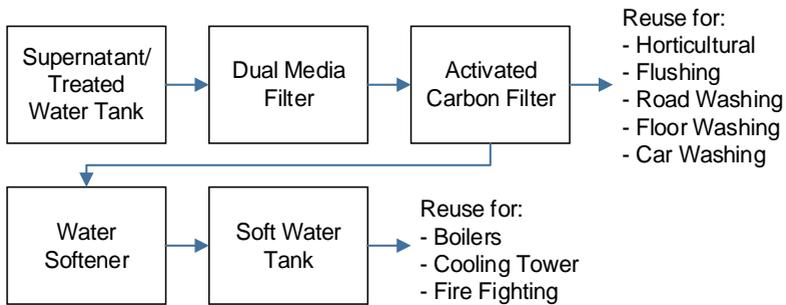
Studi yang dilakukan Mubarak *et.al*, (2018) menerapkan konsep *Zero Liquid Discharge* (ZLD) pada hotel bintang 5. Konsep ini memberikan solusi untuk melindungi badan air dari polusi pembuangan air limbah industri dan domestik dengan kuantitas besar dan membrikan pendekatan yang berkelanjutan untuk konservasi sumber air dengan proses *reuse* dan *recycle* air limbah. Teknologi pengolahan yang digunakan adalah MBBR (*Moving Bio Bed Reactor*) yang menunjukkan efisiensi removal BOD dan COD sebesar 85-90%. Berikut skema pengolahan yang diterapkan.



Gambar 3.1 Skema Pengolahan IPAL Hotel Bintang 5 (a)



Gambar 3.2 Skema Pengolahan IPAL Hotel Bintang 5 (b)

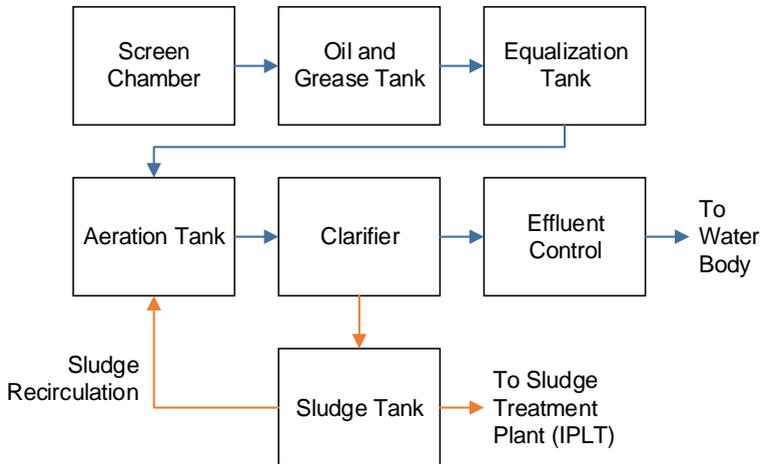


Gambar 3.3 Skema Pengolahan IPAL Hotel Bintang 5 (c)

Konsep ZLD merupakan opsi yang berkelanjutan secara teknologi dan ekonomi sebagai solusi dari masalah sumber daya – meningkatnya ketidakterersediaan air dan peningkatan biayanya. Industri kompleks mengkonsumsi air dan menghasilkan air limbah dalam jumlah besar. Konsep ZLD ini diterapkan pada hotel bintang 5 di Delhi dengan mengadopsi teknik pengolahan air limbah dan system purifikasi untuk mendapatkan *reuse* yang maksimum. Karenanya, kuantitas air bersih yang dibutuhkan menurun secara drastis.

3.1.2 Alternatif 2

Unit pengolahan yang dapat diterapkan untuk hotel bintang 4, berdasarkan Prabowo dan Purwanti (2015), adalah dengan proses aerasi. Skema pengolahan yang dapat dilakukan ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Skema Pengolahan IPAL Hotel Bintang 4

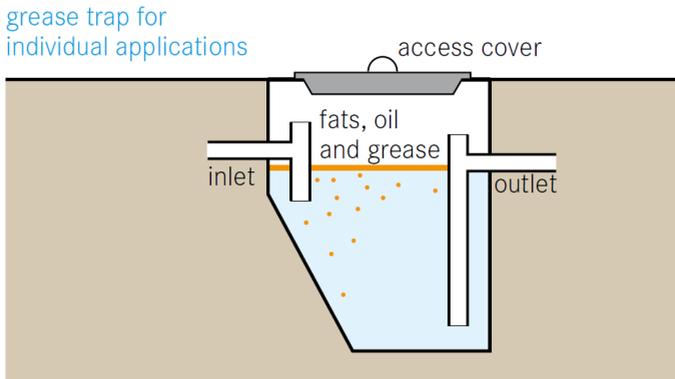
Pada prakteknya, skema pengolahan air limbah di atas sudah banyak digunakan oleh industri karena proses yang cepat dan lahan yang dibutuhkan lebih kecil daripada menggunakan proses anaerobic. Namun, harus diperhatikan rasio F/M (*Food per Microorganism*) dalam proses aerasi untuk menjaga efektifitas pengolahan dan produksi lumpurnya.

Penambahan mikroorganisme yang lebih/kurang akan sangat mempengaruhi kualitas efluen IPAL. Selain itu, lumpur yang dihasilkan juga memerlukan proses lanjutan sebelum dibuang atau digunakan untuk pupuk seperti pada Gambar 3.2. Jika tidak terdapat lahan yang dapat digunakan untuk pengolahan lumpur, maka lumpur harus diangkut ke Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT).

3.2 Unit yang Direncanakan

Unit yang direncanakan berikut mengutamakan proses anaerobik. Proses anaerobic lebih mudah dalam pengoperasiannya dan lumpur yang dihasilkan lebih sedikit dibandingkan proses aerobic seperti alternatif-alternatif di atas. Namun, proses ini hanya akan ekonomis jika debit air limbah tidak terlalu besar (berpengaruh pada lahan).

3.2.1 Grease Trap



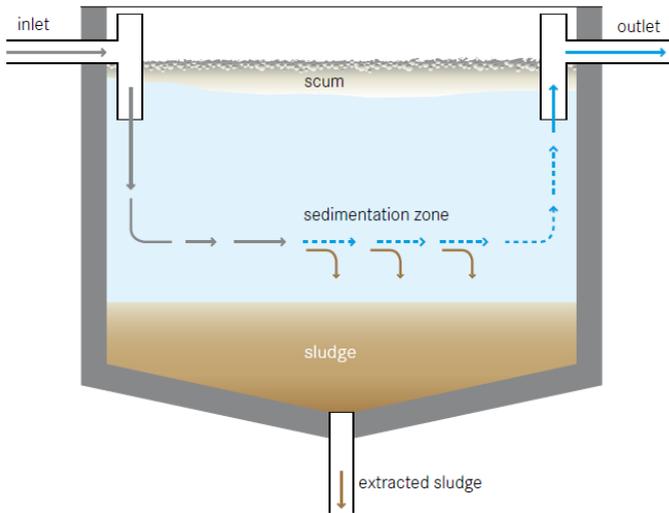
Gambar 3.5 Sistem Kerja Grease Trap

Sumber: Tilley et al., 2014

Grease trap adalah bak kontrol yang berfungsi memisahkan minyak dan lemak pada air limbah sehingga dapat dikumpulkan dan dihilangkan dengan mudah. *Grease trap* terbuat dilengkapi dengan penutup anti bau. *Baffle* atau pipa tee pada inlet dan outlet berfungsi menegah terjadinya turbulensi di permukaan air dan memisahkan komponen yang mengapung dengan air limbah. *Grease trap* dapat dipasang langsung di bawah bak cuci. *Grease trap* yang jenis ini harus sering dibersihkan (seminggu sekali atau sebulan sekali). Untuk jumlah minyak dan lemak yang lebih banyak, *grease*

trap yang lebih besar dapat dipasang di luar ruangan. *Grease trap* jenis ini dapat dirancang untuk dipompa setiap 6 hingga 12 bulan.

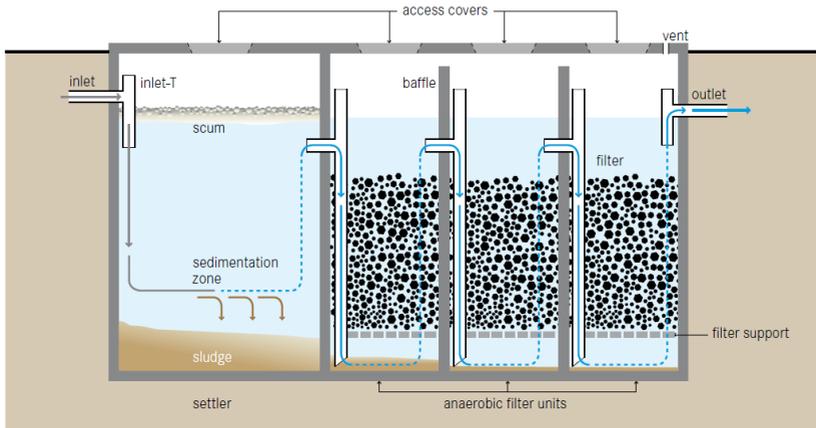
3.2.2 *Settler* (Bak Pengendap Awal)



Gambar 3.6 Sistem Kerja *Settler*
Sumber: Tilley et al., 2014

Settler adalah teknologi pengolahan air limbah utama; dirancang untuk menghilangkan padatan tersuspensi melalui sedimentasi. *Settler* juga dapat digunakan sebagai bak pengendap atau *clarifier*. Kecepatan aliran yang rendah memungkinkan padatan tersuspensi tenggelam ke dasar bak, sedangkan konstituen yang lebih ringan mengapung ke permukaan. Banyak teknologi pengolahan yang membutuhkan penghilangan padatan agar dapat berfungsi dengan baik, seperti untuk *pre-treatment* teknologi pengolahan yang menggunakan media filter.

3.2.3 Anaerobic Filter



Gambar 3.7 Sistem Kerja Anaerobic Filter

Sumber: Tilley et al., 2014

Anaerobic Filter adalah reactor biologis *fixed-bed* (media tetap) dengan satu atau lebih bak filtrasi yang dirangkai seri. Saat air limbah mengalir melewati filter, partikel-partikel akan terperangkap dan bahan organik terdegradasi oleh biomas aktif yang menempel pada permukaan media filter. Dengan teknologi ini, removal TSS dan BOD dapat mencapai 90%. Removal nitrogen terbatas dan biasanya tidak melebihi 15% dalam Total Nitrogen (TN).

Desain bak pengendap dan kompartemennya tidak berbeda dengan ABR. *Anaerobic filter* biasanya dioperasikan secara *upflow* karena resiko biomas terlepas dari media lebih kecil. Idelanya, media filter harus memiliki luas permukaan yang besar untuk tumbuhnya mikroorganisme, dengan pori-pori yang cukup besar untuk mencegah penyumbatan (*clogging*). Idelanya, media filter memiliki luas permukaan

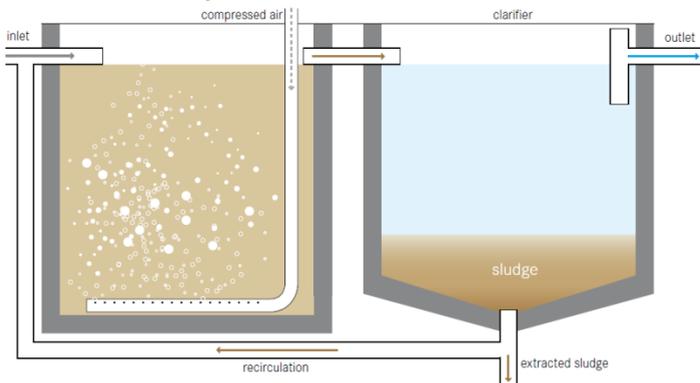
antara 90 hingga 300 m² per m³ volume reactor, dengan tipikal ukuran diameter sekitar 12 hingga 55 mm.

Tabel 3.1 Kelebihan dan Kekurangan *Anaerobic Filter*

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> + Tidak memerlukan energy listrik + Biaya operasional rendah + Umur penggunaan panjang + Removal BOD dan TSS tinggi + Produksi lumpur rendah + Dapat dibangun di bawah tanah 	<ul style="list-style-type: none"> • Membutuhkan desain dan konstruksi dari tenaga ahli • Removal bakteri patogen dan nutrisi rendah • Efluen dan lumpur memerlukan pengolahan lebih lanjut • Risiko penyumbatan pada media filter

Sumber: Tilley et al., 2014

3.2.4 Activated Sludge



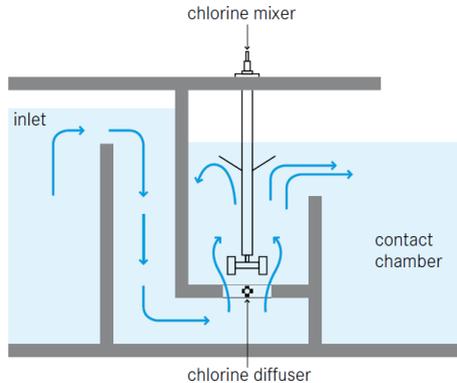
Gambar 3.8 Sistem Kerja Activated Sludge

Sumber: Tilley et al., 2014

Proses *activated sludge* (lumpur aktif) mengacu pada reactor yang menggunakan mikroorganisme konsentrasi tinggi untuk mendegradasi bahan organik dan menghilangkan nutrient pada air limbah. Untuk menjaga kondisi aerobik dan lumpur aktif tersuspensi, pasokan oksigen yang kontinu dibutuhkan. Aerasi dan pencampuran dapat dilakukan dengan memompa udara atau oksigen ke tangki atau dengan *surface aerator*. Mikroorganisme akan mengoksidasi karbon organik pada air limbah untuk menghasilkan sel baru, karbon dioksida, dan air. Flok (partikel lumpur) yang terbentuk di tangki aerasi dapat diendapkan di *clarifier* (bak pengendap kedua) dengan gravitasi. Sebagian lumpur ini didaur ulang dari *clarifier* kembali ke tangki aerasi.

Proses lumpur aktif biasanya digunakan setelah pengolahan primer (penghilangan TSS). Proses biologis yang terjadi efektif menghilangkan koloid terlarut dan partikulat. Reactor dapat dirancang untuk nitrifikasi dan denitrifikasi, serta penghilangan fosfor. Desain harus didasarkan pada estimasi komposisi dan volume air limbah yang tepat. Efisiensi pengolahan akan terganggu jika dimensi reactor terlalu kecil atau terlalu besar. Kelebihan lumpur yang dihasilkan membutuhkan pengolahan lanjutan untuk mengurangi kadar air dan bahan organik, serta untuk mendapatkan produk stabil yang cocok untuk penggunaan/pembuangan akhir.

3.2.5 Disinfeksi



Gambar 3.9 Sistem Kerja Klorinasi

Sumber: Tilley et al., 2014

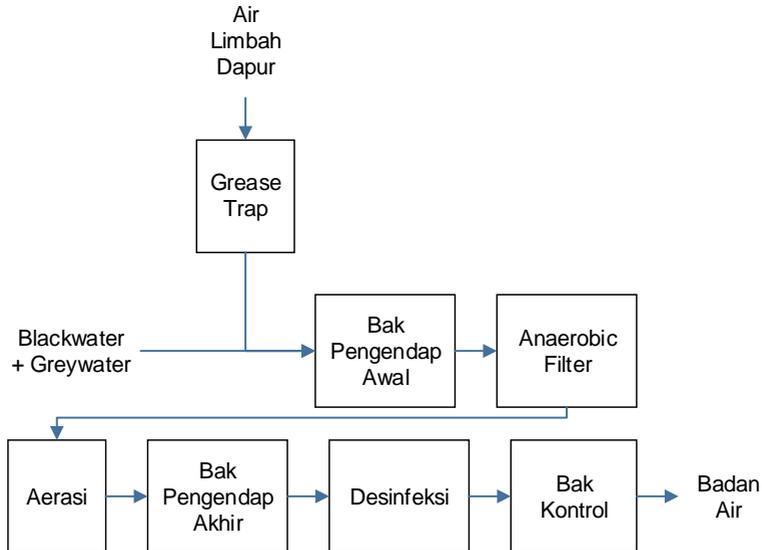
Penghilangan mikroorganisme pathogen dapat dicapai melalui pengolahan secara kimia, fisik, atau biologis. Karena biayanya yang rendah, ketersediaannya yang tinggi, dan pengoperasiannya yang mudah, klorin telah lama dipilih menjadi disinfektan untuk air limbah. Klorin mengoksidasi bahan organik, termasuk mikroorganisme dan pathogen.

Kekhawatiran mengenai bahaya produk sampingan klorinasi dan keamanan bahan kimia, menyebabkan klorinasi diganti oleh system disinfeksi alternatif, seperti ultraviolet (UV) dan ozonasi (O_3). Radiasi UV dapat dilakukan di bawah sinar matahari (secara alami) di kolam dangkal. Radiasi UV juga dapat dilakukan dengan lampu khusus yang dipasang di saluran atau pipa. Ozon adalah oksidator kuat yang dapat menurunkan polutan organik dan anorganik, termasuk agen penghasil bau. Sama halnya dengan klorin, pembentukan produk sampingan yang tidak diinginkan merupakan salah satu masalah dalam penggunaan ozon.

3.2.6 Skema Pengolahan

Setelah unit-unit pengolahan yang akan digunakan telah ditentukan, maka dapat dibuat skema pengolahan air limbah hotel dari sumber air limbah, unit pengolahan, hingga ke badan air. Sebelum dibuang ke badan air, harus ada bak kontrol efluen IPAL. Bak kontrol berfungsi sebagai lokasi pengambilan sampel efluen IPAL sebagai upaya monitoring kinerja IPAL. Skema pengolahan yang direncanakan dapat dilihat pada Gambar 3.6.

Pada perencanaan ini digunakan debit saat peak sebagai contoh perhitungan. Namun pada prakteknya, diperlukan adanya bak ekualisasi setelah bak pengendap awal. Bak ekualisasi berfungsi menyamakan beban polutan dan debit yang masuk ke unit pengolahan, sehingga dimensi unit, kebutuhan aerasi, dan kebutuhan klorinasi dapat dioptimalkan.



Gambar 3.10 Skema Pengolahan yang Direncanakan

4 Perencanaan IPAL

4.1 Contoh Perhitungan

Contoh perhitungan berikut menggunakan debit untuk *small hotel* dengan jumlah kamar sebanyak 150 kamar (Debit 37,5 m³/hari). Kualitas influen air limbah yang diolah ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Karakteristik Air Limbah Konsentrasi Rendah

Parameter	Satuan	Konsentrasi	Baku Mutu
pH	-	6 – 9	6 – 9
BOD	mg/L	110	21,5
COD	mg/L	250	71,7
TSS	mg/L	120	21,5
Minyak & Lemak	mg/L	50	3,6
Amoniak (NH ₃ -N)	mg/L	12	7,2
Total Coliform	Jml/100mL	10 ⁶ -10 ⁸	2.152

Sumber: Tchobanoglous et al., 2004 ;Hasil Perhitungan

4.1.1 Grease Trap

Diketahui:

Q in = 37,5 m³/hari
[Minyak dan Lemak] in = 50 mg/L
ρ minyak = 0,8 g/cm³

Direncanakan:

Hydraulic Retention Time (HRT) = 30 menit
Interval pengurasan (I_P) = 7 hari
Panjang bak (P) = 50 cm
Lebar bak (L) = 30 cm

Perhitungan:

Removal Minyak dan Lemak = 95%

$$\begin{aligned}[\text{Minyak dan Lemak}] \text{ out} &= 50 \text{ mg/L} \times (1 - 95\%) \\ &= 2,5 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

Asumsi air limbah dapur = 5% dari total air limbah

$$\begin{aligned}\text{Debit air limbah dapur (Q)} &= 5\% \times Q \text{ in} \\ &= 5\% \times 37,5 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 1,88 \text{ m}^3/\text{hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa minyak} &= [\text{Minyak dan Lemak}] \text{ in} \times Q \times I_p \\ &= 50 \text{ mg/L} \times 1,88 \text{ m}^3/\text{hari} \times 7 \text{ hari} \\ &= 656,25 \text{ g}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume minyak} &= \text{Massa minyak} / \rho \text{ minyak} \\ &= 656,25 \text{ g} / 0,8 \text{ g/cm}^3 \\ &= 820,31 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}H \text{ minyak} &= \text{Volume minyak} / (P \times L) \\ &= 820,31 \text{ cm}^3 / (50 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}) \\ &= 0,55 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume air} &= Q \times \text{HRT} \\ &= 1,88 \text{ m}^3/\text{hari} \times 30 \text{ menit} / 1.440 \text{ menit} \\ &= 0,039 \text{ m}^3 \\ &= 39.062,5 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}H \text{ air} &= \text{Volume air} / (P \times L) \\ &= 39.062,5 \text{ cm}^3 / (50 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}) \\ &= 26,04 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}H \text{ bak} &= H \text{ minyak} + H \text{ air} \\ &= 0,55 \text{ cm} + 26,04 \text{ cm} \\ &= 26,6 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm (dengan freeboard)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume bak} &= P \times L \times H \text{ bak} \\ &= 50 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \\ &= 45.000 \text{ cm}^3 = 45 \text{ L}\end{aligned}$$

Dimensi *grease trap* yang harus dipasang di dapur sesuai hasil perhitungan adalah:

Panjang = 50 cm; Lebar = 30 cm; Tinggi = 40 cm

Dimensi tersebut dapat disesuaikan dengan *grease trap* yang tersedia di pasaran, dengan catatan bahwa volume bak > jumlah volume minyak dan air.

4.1.2 Bak Pengendap Awal

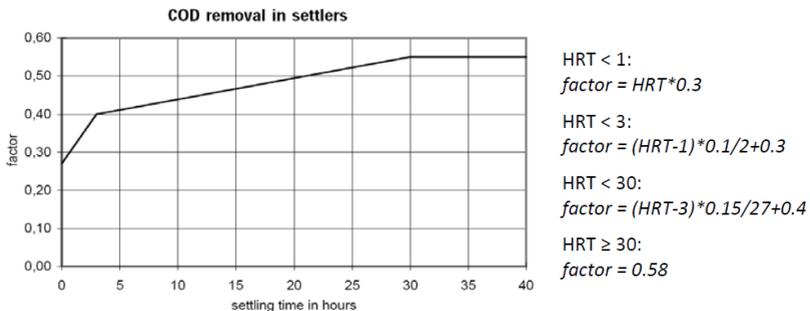
Diketahui:

- Q in = 37,5 m³/hari
- Waktu peak = 18 jam (rata-rata lama aktivitas hotel)
- [BOD] in = 110 mg/L
- [COD] in = 250 mg/L
- [TSS] in = 120 mg/L
- Rasio *Settleable* SS/COD = 0,42 (0,35 – 0,45)

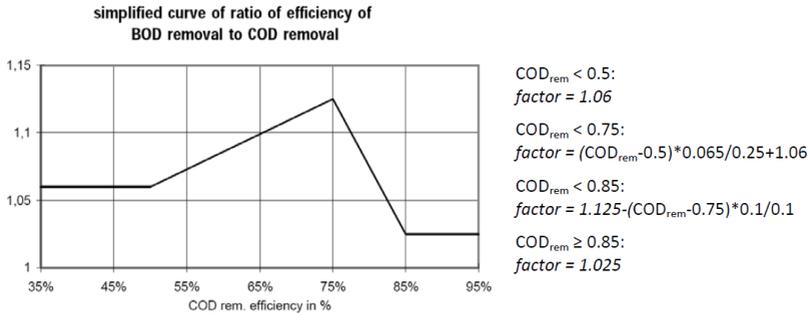
Direncanakan:

- Hydraulic Retention Time* (HRT) = 2 jam
- Interval pengurasan (I_P) = 24 bulan
- Lebar bak (L) = 2 m
- Kedalaman air (H air) = 1,8 m
- Tinggi *freeboard* = 0,2 m
- Tinggi bak (H bak) = 2 m

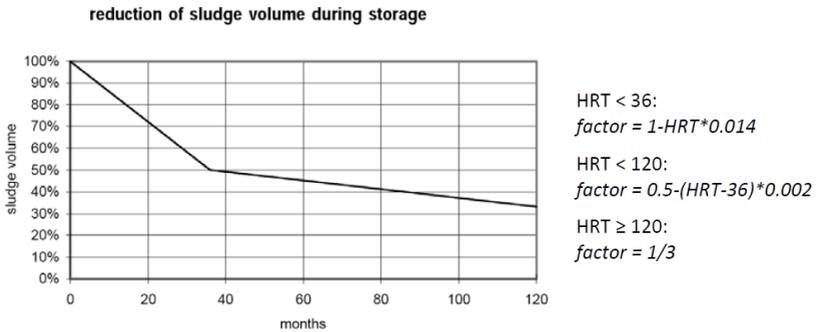
Faktor-faktor Perhitungan:



Gambar 4.1 Faktor Removal COD terhadap HRT



Gambar 4.2 Faktor Rasio Removal BOD / Removal COD



Gambar 4.3 Faktor Pengurangan Volume Lumpur

Perhitungan:

A) Removal Polutan Organik

$$\begin{aligned}
 Q \text{ peak} &= Q \text{ in} / \text{Waktu peak} \\
 &= 37,5 \text{ m}^3/\text{hari} / 18 \text{ jam} \\
 &= 2,08 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio COD/BOD} &= [\text{COD}] \text{ in} / [\text{BOD}] \text{ in} \\
 &= 110 \text{ mg/L} / 250 \text{ mg/L} \\
 &= 0,44
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f\text{-HRT} &= (HRT-1) \times 0,1/2 + 0,3 \text{ (Gambar 4.1)} \\
 &= (2-1) \times 0,1/2 + 0,3 \\
 &= 0,35
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Removal COD} &= \text{Rasio } \textit{Settleable} \text{ SS/COD}/0,6 \times \text{f-HRT} \\
&= 0,42/0,6 \times 0,35 \\
&= 24,5\% \\
[\text{COD}] \text{ out} &= [\text{COD}] \text{ in} \times (1 - \text{Removal COD}) \\
&= 250 \text{ mg/L} \times (1 - 24,5\%) \\
&= 188,75 \text{ mg/L} \\
\text{Removal BOD/COD} &= 1,06 \text{ (Gambar 4.2)} \\
\text{Removal BOD} &= \text{Removal COD} \times \text{Removal BOD/COD} \\
&= 24,5\% \times 1,06 \\
&= 26\% \\
[\text{BOD}] \text{ out} &= [\text{BOD}] \text{ in} \times (1 - \text{Removal BOD}) \\
&= 110 \text{ mg/L} \times (1 - 26\%) \\
&= 81,43 \text{ mg/L} \\
[\text{TSS}] \text{ tersisihkan} &= \text{Rasio } \textit{Settleable} \text{ SS/COD} \times [\text{COD}] \text{ in} \\
&= 0,42 \times 250 \text{ mg/L} \\
&= 105 \text{ mg/L} \\
[\text{TSS out}] &= [\text{TSS}] \text{ in} - [\text{TSS}] \text{ tersisihkan} \\
&= 120 \text{ mg/L} - 105 \text{ mg/L} \\
&= 15 \text{ mg/L} \\
\text{Removal TSS} &= [\text{TSS}] \text{ tersisihkan} / [\text{TSS}] \text{ in} \times 100\% \\
&= 105 \text{ mg/L} / 120 \text{ mg/L} \times 100\% \\
&= 87,5\%
\end{aligned}$$

B) Penentuan Volume Lumpur

$$\begin{aligned}
\text{f-sludge} &= 1 - I_p \times 0,014 \text{ (Gambar 4.3)} \\
&= 1 - 24 \times 0,014 \\
&= 66,4\% \\
\text{Volume lumpur per} &= 0,005 \times \text{f-sludge} \\
\text{Removal BOD (V}_{L1}) &= 0,005 \times 66,4\% \\
&= 0,00332 \text{ L/g.BOD} \\
[\text{BOD}] \text{ tersisihkan} &= [\text{BOD}] \text{ in} - [\text{BOD}] \text{ out} \\
&= 110 \text{ mg/L} - 81,43 \text{ mg/L} \\
&= 28,57 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume lumpur dari} &= V_{L1} \times [\text{BOD}] \text{ tersisihkan} / 1.000 \text{ L/m}^3 \\ \text{BOD tersisihkan (V}_{L2}\text{)} &= 0,00332 \times 28,57 / 1.000 \\ &= 9,485 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ \text{Volume lumpur} &= V_{L2} \times I_P \times 30 \text{ hari/bulan} \times Q \text{ in} \\ &= 9,485 \times 10^{-5} \times 24 \times 30 \times 37,5 \\ &= 2,56 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

C) Penentuan Volume Bak Pengendap

$$\begin{aligned} \text{Volume air} &= \text{HRT} \times Q \text{ peak} \\ &= 2 \text{ jam} \times 2,08 \text{ m}^3/\text{jam} \\ &= 4,17 \text{ m}^3 \\ \text{Volume air+lumpur} &= \text{Volume air} + \text{Volume lumpur} \\ &= 4,17 \text{ m}^3 + 2,56 \text{ m}^3 \\ &= 6,73 \text{ m}^3 \\ \text{Luas permukaan (A)} &= \text{Volume air+lumpur} / H \text{ air} \\ &= 6,73 \text{ m}^3 / 1,8 \text{ m} \\ &= 3,74 \text{ m}^2 \\ \text{Volume freeboard} &= A \times 0,2 \text{ m} \\ &= 3,74 \text{ m}^2 \times 0,2 \text{ m} \\ &= 0,75 \text{ m}^3 \\ \text{Volume bak} &= \text{Vol. air+lumpur} + \text{Vol. freeboard} \\ &= 6,73 \text{ m}^3 + 0,75 \text{ m}^3 \\ &= 7,47 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

D) Penentuan Dimensi Bak

$$\begin{aligned} \text{Panjang komp. 1 (P}_1\text{)} &= (2/3 \times \text{Volume bak}) / (L \times H_{\text{air}}) \\ &= (2/3 \times 7,48 \text{ m}^3) / (2 \text{ m} \times 1,8 \text{ m}) \\ &= 1,38 \text{ m} \approx 1,4 \text{ m} \\ \text{Panjang komp. 2 (P}_2\text{)} &= P_1 / 2 \\ &= 1,38 \text{ m} / 2 \\ &= 0,69 \text{ m} \approx 0,7 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang total} &= P_1 + P_2 \\
 &= 1,4 \text{ m} + 0,7 \text{ m} \\
 &= 2,1 \text{ m} \\
 \text{Luas permukaan (A)} &= L \times (P_1 + P_2) \\
 &= 2 \text{ m} \times (1,4 \text{ m} + 0,7 \text{ m}) \\
 &= 4,2 \text{ m}^2 \\
 \text{Volume total} &= A \times H \text{ air} \\
 &= 4,2 \text{ m}^2 \times 1,8 \text{ m} \\
 &= 7,56 \text{ m}^3 \text{ (Cek: V. total} > \text{V. bak)}
 \end{aligned}$$

Dimensi bak pengendap awal (*settler*) sesuai dengan hasil perhitungan adalah sebagai berikut.

Panjang = 2,1 m; Lebar = 2 m; Tinggi = 2

Dimensi *settler* dapat disesuaikan dengan ukuran unit pengolahan selanjutnya. Ukuran lebar dan tinggi bak dapat disamakan untuk semua unit, sehingga pemasangan dan perhitungan kebutuhan lahan lebih mudah.

E) Produksi Biogas

Diasumsikan 70% biogas adalah CH_4 dan 50% terlarut.

$$\begin{aligned}
 \text{Biogas} &= ([\text{COD}] \text{ in} - [\text{COD}] \text{ out}) \times Q \text{ in} \times 0,35/1.000/0,7 \times 0,5 \\
 &= (250 - 188,75) \times 37,5 \times 0,35/1.000/0,7 \times 0,5 \\
 &= 0,6 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

4.1.3 *Anaerobic Filter*(AF)

Media filter yang digunakan adalah media tipe sarang tawon yang memiliki spesifikasi:

Material	: PVC
Ukuran lubang	: 2 cm x 2 cm
Ketebalan	: 0,2 mm – 0,5 mm
Luas permukaan spesifik	: 150 – 220 m ² /m ³
Porositas media (Pm)	: 0,98

Diketahui:

Q in = 37,5 m³/hari

Waktu peak = 18 jam

[BOD] in = 81,43 mg/L

[COD] in = 188,75 mg/L

Rasio *Settleable* SS/COD = 0,42 (0,35 – 0,45)

Suhu terendah (temp) = 28°C (asumsi)

Direncanakan:

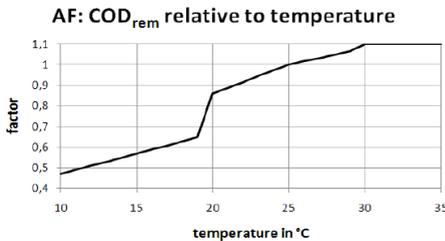
Kedalaman air (H air) = 1,8 m

Panjang kompartemen (P) = 1 m (< H air)

Lebar kompartemen (L) = 2 m (≤ 3,5 m)

Jumlah kompartemen (n) = 2 (1 – 3)

Faktor-faktor Perhitungan:



temp < 20 °C:

$$factor = (temp-10)*0.39/20+0.47$$

temp < 25 °C:

$$factor = (temp-20)*0.14/5+0.86$$

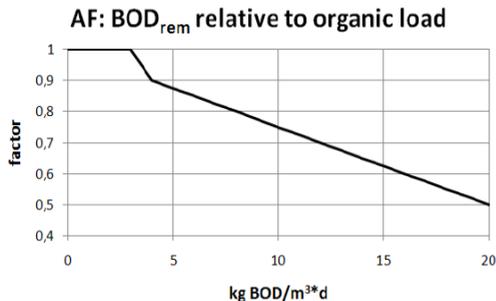
temp < 30 °C:

$$factor = (temp-25)*0.08/5+1$$

temp ≥ 30 °C:

$$factor = 1.10$$

Gambar 4.4 Faktor Removal COD Terhadap Suhu



load < 4 kg/m³*d:

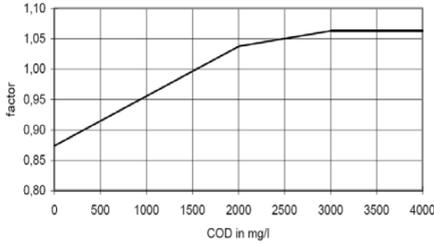
$$factor = 1.00$$

load ≥ 4 kg/m³*d:

$$factor = 1-(load)*0.4/16$$

Gambar 4.5 Faktor Removal BOD Terhadap *Organic Load*

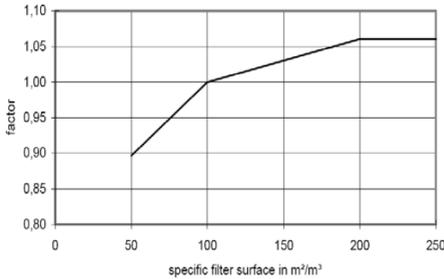
anaerobic filter, CODrem in relation to wastewater strength



$COD_{in} < 2000 \text{ mg/L:}$
 $factor = COD_{in} * 0.17 / 2000 + 0.87$
 $COD_{in} < 3000 \text{ mg/L:}$
 $factor = (COD_{in} - 2000) * 0.02 / 1000 + 1.04$
 $COD_{in} \geq 3000 \text{ mg/L:}$
 $factor = 1.06$

Gambar 4.6 Faktor Removal COD Terhadap Konsentrasinya

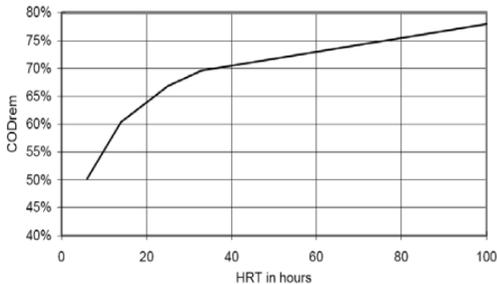
anaerobic filter, CODrem in relation to specific filter surface



$surface < 100 \text{ m}^2/\text{m}^3:$
 $factor = (surface - 50) * 0.1 / 50 + 0.9$
 $surface < 200 \text{ m}^2/\text{m}^3:$
 $factor = (surface - 100) * 0.06 / 100 + 1$
 $surface \geq 200 \text{ m}^2/\text{m}^3:$
 $factor = 1.06$

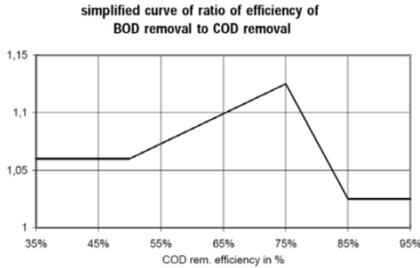
Gambar 4.7 Faktor Removal COD Terhadap Luas Permukaan Spesifik Media Filter

anaerobic filter, CODrem in relation to HRT, CODin 1500 mg/l; 25°C



$HRT < 12\text{h:}$
 $factor = HRT * 0.16 / 12 + 0.44$
 $HRT < 24\text{h:}$
 $factor = (HRT - 12) * 0.07 / 12 + 0.6$
 $HRT < 33\text{h:}$
 $factor = (HRT - 24) * 0.03 / 9 + 0.67$
 $HRT < 100\text{h:}$
 $factor = (HRT - 33) * 0.09 / 67 + 0.7$
 $HRT \geq 100\text{h:}$
 $factor = 0.78$

Gambar 4.8 Faktor Removal COD Terhadap HRT



$COD_{rem} < 0.5:$
 $factor = 1.06$
 $COD_{rem} < 0.75:$
 $factor = (COD_{rem}-0.5) \cdot 0.065 / 0.25 + 1.06$
 $COD_{rem} < 0.85:$
 $factor = 1.125 - (COD_{rem}-0.75) \cdot 0.1 / 0.1$
 $COD_{rem} \geq 0.85:$
 $factor = 1.025$

$$BOD_{rem} = COD_{rem} \cdot factor$$

Gambar 4.9 Faktor Rasio Removal BOD/COD

Kriteria Desain:

Hydraulic retention time (HRT) = 15 – 20 jam
Up-flow velocity (V_{up}) ≤ 2 m/jam
Organic load < 4 kgCOD/m³.hari

Perhitungan:

A) Removal Polutan Organik

Organic load = $Q \text{ in} \times [\text{COD}] \text{ in} / \text{Volume AF} / 1.000 \text{ g/kg}$
 = $37,5 \text{ m}^3/\text{hari} \times 188,75 \text{ mg/L} / 24 \text{ m}^3 / 1.000\text{g/kg}$
 = $0,29 \text{ kg COD/m}^3.\text{hari}$ (< 4 kg COD/m³.hari)

f-temp = $(\text{temp} - 25) \times 0,05 / 5 + 1$ (Gambar 4.4)
 = $(28 - 25) \times 0,05 / 5 + 1$
 = 1,03

f-load = 1,00 (Gambar 4.5)

f-strength = $[\text{COD}] \text{ in} \times 0,17 / 2.000 + 0,87$ (Gambar 4.6)
 = $188,75 \text{ mg/L} \times 0,17 / 2.000 + 0,87$
 = 0,89

f-surface = 1,06 (Gambar 4.7)

f-HRT = $(\text{HRT} - 12) \times 0,18 / 15 + 0,82$ (Gambar 4.8)
 = $(15,38 - 12) \times 0,18 / 15 + 0,82$
 = 0,86

$$\begin{aligned}
f\text{-chamber} &= 1 + (n \times 0,04) \\
&= 1 + (3 \times 0,04) \\
&= 1,12 \\
\text{Removal COD} &= f\text{-temp} \times f\text{-load} \times f\text{-strength} \times f\text{-surface} \\
&\quad \times f\text{-HRT} \times f\text{-chamber} \\
&= 1,03 \times 1,00 \times 0,89 \times 1,06 \times 0,86 \times 1,12 \\
&= 0,932 \approx 93,2\% \\
[\text{COD}] \text{ out} &= [\text{COD}] \text{ in} \times (1 - \text{Removal COD}) \\
&= 188,75 \text{ mg/L} \times (1 - 93,2\%) \\
&= 12,8 \text{ mg/L} \\
\text{Removal BOD/COD} &= 1,025 \text{ (Gambar 4.9)} \\
\text{Removal BOD} &= \text{Removal COD} \times \text{Removal BOD/COD} \\
&= 93,2\% \times 1,025 \\
&= 95,6\% \\
[\text{BOD}] \text{ out} &= [\text{BOD}] \text{ in} \times (1 - \text{Removal BOD}) \\
&= 81,43 \text{ mg/L} \times (1 - 95,6\%) \\
&= 3,6 \text{ mg/L} \\
\text{Removal TSS} &= 80\% \\
[\text{TSS}] \text{ out} &= [\text{TSS}] \text{ in} \times (1 - \text{Removal TSS}) \\
&= 15 \text{ mg/L} \times (1 - 80\%) \\
&= 3 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

B) Produksi Biogas

Diasumsikan 70% biogas adalah CH₄ dan 50% terlarut.

$$\begin{aligned}
\text{Biogas} &= ([\text{COD}] \text{ in} - [\text{COD}] \text{ out}) \times Q \text{ in} \times 0,35/1.000/0,7 \times 0,5 \\
&= (188,75 - 12,8) \times 37,5 \times 0,35/1.000/0,7 \times 0,5 \\
&= 1,65 \text{ m}^3/\text{hari}
\end{aligned}$$

C) Produksi Lumpur

Synthesis yield in anaerob (Y) = 0,06 gVSS/gCOD

$$\begin{aligned}
\text{Massa COD} &= Q \text{ in} \times [\text{COD}] \text{ in} \times \text{Removal COD} \\
\text{tersisihkan} &= 37,5 \times 188,75 \times 93,2\% \\
&= 6.596,8 \text{ g/hari} = 6,6 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Massa COD}_{VSS} &= 1,42 \times Y \times \text{Massa COD tersisihkan} \\
&= 1,42 \times 0,06 \times 6,6 \\
&= 0,56 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa COD}_{TSS} &= \text{Massa COD}_{VSS} / 0,85 \\
&= 0,56 \text{ kg/hari} / 0,85 \\
&= 0,66 \text{ kg/hari} \\
\text{Specific gravity (Sg)} &= 1,025 \\
\rho \text{ air} &= 1.000 \text{ kg/m}^3 \\
\% \text{solid} &= 5\% \\
Q \text{ lumpur} &= \text{Massa COD}_{TSS} / (\text{Sg} \times \rho \text{ air} \times 5\%) \\
&= 0,66 \text{ kg/hari} / (1,025 \times 1.000 \times 5\%) \\
&= 0,0129 \text{ m}^3/\text{hari} \\
\text{Intensitas pengurasan} &= 2 \text{ tahun} \\
\text{Volume lumpur} &= Q \text{ lumpur} \times 365 \text{ hari} \times 2 \\
&= 0,0129 \text{ m}^3/\text{hari} \times 365 \text{ hari} \times 2 \\
&= 9,4 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

D) Penentuan Ukuran per Kompartemen

$$\begin{aligned}
Q \text{ peak} &= Q \text{ in} / \text{Waktu peak} \\
&= 37,5 \text{ m}^3/\text{hari} / 18 \text{ jam} \\
&= 2,08 \text{ m}^3/\text{jam} \\
\text{Tinggi air di atas media} &= 0,4 \text{ m} \\
\text{Jarak di bawah media} &= 0,35 \text{ m} \\
\text{Tebal plat penyangga} &= 0,05 \text{ m} \\
\text{Freeboard} &= 0,2 \text{ m} \\
H \text{ bak} &= H \text{ air} + \text{Freeboard} \\
&= 1,8 \text{ m} + 0,2 \text{ m} \\
&= 2 \text{ m} \\
H \text{ filter} &= H \text{ air} - 0,4 \text{ m} - 0,35 \text{ m} - 0,05 \text{ m} \\
&= 1,8 \text{ m} - 0,4 \text{ m} - 0,35 \text{ m} - 0,05 \text{ m} \\
&= 1 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek HRT} &= (H_{\text{air}} - H_{\text{filter}} \times (1 - P_m)) \times P \times L \times n / (Q_{\text{in}} / 24) \\ &= (1,8 - 1 \times (1 - 0,98)) \times 1 \times 2 \times 2 / (37,5 / 24) \\ &= 4,56 \text{ jam} \end{aligned}$$

Karena HRT belum sesuai dengan kriteria desain, maka dilakukan penyesuaian sebagai berikut.

$$\text{Panjang kompartemen (P)} = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Lebar kompartemen (L)} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah kompartemen (n)} = 3$$

$$\begin{aligned} \text{Cek HRT} &= (H_{\text{air}} - H_{\text{filter}} \times (1 - P_m)) \times P \times L \times n / (Q_{\text{in}} / 24) \\ &= (1,8 - 1 \times (1 - 0,98)) \times 1,5 \times 3 \times 3 / (37,5 / 24) \\ &= 15,38 \text{ jam (sesuai)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek } V_{\text{up}} &= Q_{\text{peak}} / (L \times P \times P_m) \\ &= 2,08 \text{ m}^3/\text{jam} / (3 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 0,98) \\ &= 0,47 \text{ m/jam (sesuai)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume air} &= P \times L \times n \times (H_{\text{air}} - H_{\text{filter}} \times (1 - P_m)) \\ &= 1,5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 3 \times (1,8 \text{ m} - 1 \text{ m} \times (1 - 0,98)) \\ &= 24 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Karena kedalaman lumpur setelah 2 tahun cukup tinggi, maka perlu dilakukan pengurasan lebih sering (per 1 tahun atau 6 bulan) atau dengan menambah volume *anaerobic filter*. Hal ini dikarenakan volume lumpur dapat mengurangi HRT dalam bak hingga tidak memenuhi kriteria desain.

4.1.4 Aerasi

Proses aerasi bertujuan untuk mengoksidasi ammonia terlarut dalam air limbah.

Diketahui:

$$Q_{\text{in}} = 37,5 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Waktu peak} = 18 \text{ jam}$$

$$[\text{NH}_3\text{-N}]_{\text{in}} = 12 \text{ mg/L}$$

Direncakan:

<i>Hydraulic retention time</i> (HRT)	= 3 jam (2 – 5 jam)
Kedalaman air (H air)	= 1,8 m
Lebar bak (L)	= 3 m
Removal NH ₃ -N	= 90%
[NH ₃ -N] out	= 1,2 mg/L

Perhitungan:**A) Dimensi Bak Aerasi**

Q peak	= Q in / Waktu peak
	= 37,5 m ³ /hari / 18 jam
	= 2,08 m ³ /jam
Volume bak	= Q peak × HRT
	= 2,08 m ³ /jam × 3 jam
	= 6,24 m ³
Panjang bak	= Volume bak / (H air × L)
	= 6,24 m ³ / (1,8 m × 3 m)
	= 1,15 m ≈ 1,2m
<i>Freeboard</i>	= 0,2 m

B) Kebutuhan Oksigen

N teroksidasi (NO _x)	= [NH ₃ -N] in - [NH ₃ -N] out
	= 12 mg/L – 1,2 mg/L
	= 10,8 mg/L
Kebutuhan O ₂	= 4,33 × Q _{peak} × NO _x
	= 4,33 × 2,08 m ³ /jam × 10,8 mg/L
	= 97,4 g/jam

C) Kebutuhan Volume Udara

Massa jenis O ₂ (ρ)	= 1,1725 kg/m ³
O ₂ dalam udara	= 23,2%
O ₂ terlarut	= 5%

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan udara teoritis} &= \text{Kebutuhan } O_2 / (\rho \times 23,2\% \times 5\%) \\
 &= 97,4 / (1,1725 \times 23,2\% \times 5\%) \\
 &= 7.163 \text{ L/hari} \\
 &= 119,4 \text{ L/menit}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan udara desain} &= 2 \times \text{kebutuhan udara teoritis} \\
 &= 2 \times 119,4 \text{ L/menit} \\
 &= 238,8 \text{ L/menit}
 \end{aligned}$$

Pemilihan aerator harus memenuhi kebutuhan udara desain (bisa melebihi) untuk memastikan proses aerasi sesuai yang direncanakan.

D) Bak Pengendap Akhir (Clarifier)

$$\begin{aligned}
 Q \text{ peak} &= Q \text{ in} / \text{Waktu peak} \\
 &= 37,5 \text{ m}^3/\text{hari} / 18 \text{ jam} \\
 &= 2,08 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bak} &= Q \text{ peak} \times \text{HRT} \\
 &= 2,08 \text{ m}^3/\text{jam} \times 3 \text{ jam} \\
 &= 6,24 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bak} &= \text{Volume bak} / (\text{H air} \times L) \\
 &= 6,24 \text{ m}^3 / (1,8 \text{ m} \times 3 \text{ m}) \\
 &= 1,15 \text{ m} \approx 1,2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Freeboard} = 0,2 \text{ m}$$

4.1.5 Disinfeksi

Disinfeksi direncanakan menggunakan klorin cair (Cl_2)12% sebagai desinfektan.

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 Q \text{ peak} &= 2,08 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 \text{Total Coliform masuk (N}_0) &= 10^8/100 \text{ mL} \\
 \text{Total Coliform keluar (N)} &= 1.000/100 \text{ mL} \\
 \text{Massa jenis klorin} &= 3,124 \text{ g/cm}^3
 \end{aligned}$$

Direncanakan:

$[Cl_2]$ out = 0,03 mg/L (Mutu Air PP No. 82 Tahun 2001)

Klorin rusak selama klorinasi ($[Cl_2]$ decay) = 2,5 mg/L

b = 4 (tipikal)

n = 2,8 (tipikal)

Waktu kontak = 60 menit

Perhitungan:**A) Dosis Klorin**

$N/N_0 = (C_R \times \text{Waktu kontak} / b)^{-n}$

$1.000/10^8 = (C_R \times 60 / 4)^{-2,8}$

$(1.000/10^8)^{-1/2,8} = (C_R \times 60 / 4)$

46,43 = $(C_R \times 60 / 4)$

$C_R = 4,1$ mg/L

$[Cl_2]$ in = $[Cl_2]$ out + $[Cl_2]$ decay + C_R

= 0,03 mg/L + 2,5 mg/L + 4,1 mg/L

= 4,63 mg/L

Kebutuhan klorin = $(1/12\%) \times [Cl_2]$ in $\times Q$ pek

= $(1/12\%) \times 4,63$ mg/L $\times 2,08$ m³/jam

= 114,6g/jam

Debit pembubuhan = Kebutuhan klorin / Massa jenis klorin

= 114,6 g/jam / 3,124 g/cm³

= 36,7mL/jam

B) Dimensi Bak Klorinasi

Volume bak = Q peak \times Waktu kontak

= 2,08 m³/jam \times 60 menit

= 2,08 m³

Panjang bak = 1,5 m

Tinggi air = 1 m

Lebar bak = 1,5 m

Freeboard = 0,3 m

4.1.6 Rekapitulasi

Berdasarkan perhitungan-perhitungan sebelumnya, efisiensi removal tiap unit pengolahan dan dimensinya dapat ditunjukkan pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.2 Efisiensi Removal

Parameter	Inlet (mg/L)	GT	BP Awal	AF	Aerasi	Desinfeksi	Outlet (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)
BOD	110	-	26%	95,6%	-	-	3,6	21,5
COD	250	-	24,5%	93,2%	-	-	12,8	71,7
TSS	120	-	87,5%	80%	-	-	3	21,5
Minyak & Lemak	50	95%	-	-	-	-	2,5	3,6
Amoniak	12	-	-	-	90%	-	1,2	7,2
Total Coliform	10 ⁸	-	-	-	-	99,9%	1.000	2.152

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.3 Dimensi Unit Pengolahan

Unit	GT	BP Awal*	AF	Aerasi	BP Akhir	Desinfeksi
Panjang (m)	0,5	1,5	4,5	1,2	1,2	1,5
Lebar (m)	0,3	3	3	3	3	1,5
Tinggi (m)	0,4	2	2	2	2	1,3

Sumber: Hasil Perhitungan

*) setelah penyesuaian lebar dan tinggi dengan AF

- Minyak dan lemak yang harus dibersihkan sebanyak 0,82 liter per minggu
- Produksi lumpur di BP awal adalah 2,56 m³ per 2 tahun
- Produksi biogas di BP awal adalah 0,6 m³/hari
- Produksi lumpur di *anaerobic filter* adalah 9,4 m³/2 tahun
- Produksi biogas di *anaerobic filter* sebesar 1,65 m³/hari
- Kebutuhan udara untuk aerasi adalah 238,8 L/menit
- Debit pembubuhan klorin cair adalah 36,7 mL/jam

4.2 Air Limbah Konsentrasi Sedang

Jenis unit pengolahan yang sama juga dapat digunakan untuk mengolah air limbah dengan konsentrasi sedang dan debit 37,5 m³/hari (*small hotel*).

Tabel 4.4 Karakteristik Air Limbah Konsentrasi Sedang

Parameter	Satuan	Konsentrasi	Baku Mutu
pH	-	6 – 9	6 – 9
BOD	mg/L	190	22,7
COD	mg/L	430	75,8
TSS	mg/L	210	22,7
Minyak & Lemak	mg/L	90	3,8
Amoniak (NH ₃ -N)	mg/L	25	7,6
Total Coliform	Jml/100mL	10 ⁷ -10 ⁹	2.275

Sumber: Tchobanoglous et al., 2004 ;Hasil Perhitungan

Tabel 4.5 Efisiensi Removal

Parameter	Inlet (mg/L)	GT	BP Awal	AF	Aerasi	Desin-feksi	Outlet (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)
BOD	190	-	26%	94,5%	-	-	4,5	22,7
COD	430	-	24,5%	96,8%	-	-	18	75,8
TSS	210	-	86%	80%	-	-	5,8	22,7
Minyak & Lemak	90	95%	-	-	-	-	4,5	3,8
Amoniak	25	-	-	-	90%	-	2,5	7,6
Total Coliform	10 ⁹	-	-	-	-	99,9%	1.000	2.275

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.6 Dimensi Unit Pengolahan

Unit	GT	BP Awal*	AF	Aerasi	BP Akhir	Desinfeksi
Panjang (m)	0,5	1,8	4,5	1,2	1,2	1,5
Lebar (m)	0,3	3	3	3	3	1,5
Tinggi (m)	0,4	2	2	2	2	1,3

Sumber: Hasil Perhitungan

*) setelah penyesuaian lebar dan tinggi dengan AF

- Minyak dan lemak yang harus dibersihkan sebanyak 1,5 liter per minggu
- Produksi lumpur di BP awal adalah 4,4 m³ per 2 tahun
- Produksi biogas di BP awal adalah 1 m³/hari
- Produksi lumpur di *anaerobic filter* adalah 16,4 m³/2 tahun
- Produksi biogas di *anaerobic filter* sebesar 2,87 m³/hari
- Kebutuhan udara untuk aerasi adalah 497,4 L/menit
- Debit pembubuhan klorin cair adalah 65,5 mL/jam

4.3 Air Limbah Konsentrasi Tinggi

Unit pengolahan tersebut juga berlaku untuk air limbah konsentrasi tinggi dengan debit 37,5 m³/hari (*small hotel*).

Tabel 4.7 Karakteristik Air Limbah Konsentrasi Sedang

Parameter	Satuan	Konsentrasi	Baku Mutu
pH	-	6 – 9	6 – 9
BOD	mg/L	350	27,6
COD	mg/L	800	92
TSS	mg/L	400	27,6
Minyak & Lemak	mg/L	100	4,6
Amoniak (NH ₃ -N)	mg/L	45	9,2
Total Coliform	Jml/100mL	10 ⁷ -10 ¹⁰	2.758

Sumber: Tchobanoglous et al., 2004 ;Hasil Perhitungan

Tabel 4.8 Efisiensi Removal

Parameter	Inlet (mg/L)	GT	BP Awal	AF	Aerasi	Desin-feksi	Outlet (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)
BOD	350	-	26%	99,4%	-	-	1,6	22,7
COD	800	-	24,5%	97%	-	-	18,4	75,8
TSS	400	-	84%	80%	-	-	5,4	22,7
Minyak & Lemak	100	95%	-	-	-	-	5	3,8
Amoniak	45	-	-	-	90%	-	4,5	7,6

Parameter	Inlet (mg/L)	GT	BP Awal	AF	Aerasi	Desinfeksi	Outlet (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)
Total Coliform	10 ¹⁰	-	-	-	-	99,9%	1.000	2.275

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.9 Dimensi Unit Pengolahan

Unit	GT	BP Awal*	AF	Aerasi	BP Akhir	Desinfeksi
Panjang (m)	0,5	2,6	4,5	1,2	1,2	1,5
Lebar (m)	0,3	3	3	3	3	1,5
Tinggi (m)	0,4	2	2	2	2	1,3

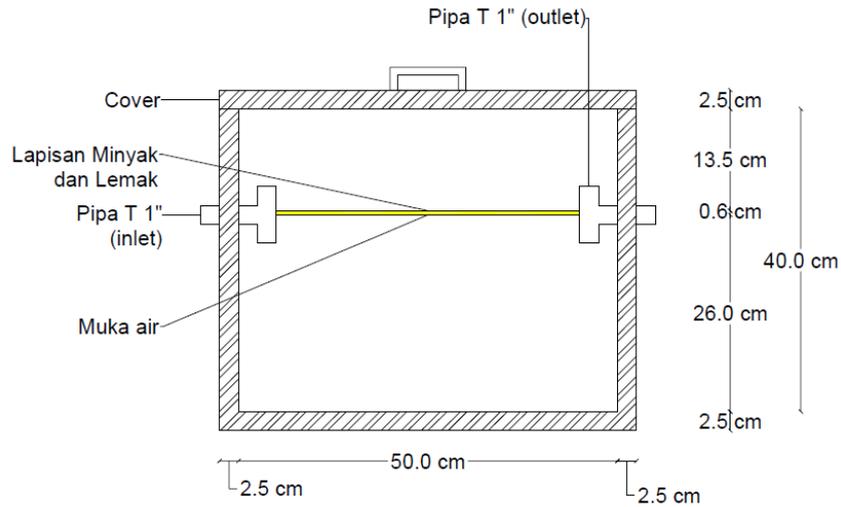
Sumber: Hasil Perhitungan

*) setelah penyesuaian lebar dan tinggi dengan AF

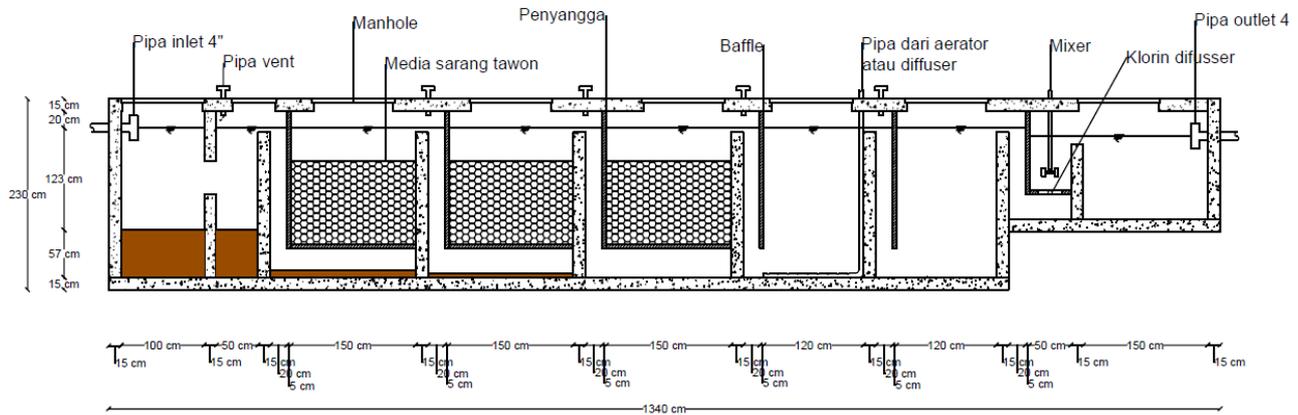
- Minyak dan lemak yang harus dibersihkan sebanyak 1,65 liter per minggu
- Produksi lumpur di BP awal adalah 8,15 m³ per 2 tahun
- Produksi biogas di BP awal adalah 1,8 m³/hari
- Produksi lumpur di *anaerobic filter* adalah 31,4 m³/2 tahun
- Produksi biogas di *anaerobic filter* sebesar 5,5 m³/hari
- Kebutuhan udara untuk aerasi adalah 895,4 L/menit
- Debit pembubuhan klorin cair adalah 131,5 mL/jam

Catatan:

Unit pengolahan air limbah untuk *average hotel* (91 m³/hari) dan *large hotel* (150 m³/hari) dapat menggunakan skema pengolahan air limbah di atas, jika debit air limbah dibagi ke beberapa IPAL dengan kapasitas lebih kecil (misalnya 600 kamar dibagi ke 4 IPAL dengan kapasitas 45 m³/hari). Jika tidak diinginkan demikian, maka dapat direncanakan unit pengolahan air limbah menggunakan teknologi pengolahan lain yang lebih sesuai dengan karakteristik air limbah dan luas lahan yang tersedia.



Gambar 4.10 Desain *Grease Trap* untuk *Small Hotel* dengan Air Limbah Konsentrasi Rendah



Gambar 4.11 Desain IPAL untuk *Small Hotel* dengan Air Limbah Konsentrasi Rendah

Penataan masing-masing unit pengolahan dapat disesuaikan dengan kondisi lahan yang tersedia di lapangan. Sedangkan pemilihan bahan bangunan yang digunakan (beton/fiber/plastic) disesuaikan dengan rencana lokasi IPAL (di bawah tanah atau di atas permukaan tanah) dan kondisi tanah.

5 Operasi dan Perawatan

Standard Operation Procedure (SOP) diperlukan agar operator IPAL mengetahui apa saja yang harus dilakukan untuk pengoperasian dan perawatan IPAL. Dibutuhkan operator yang memahami proses pengolahan air limbah di setiap unit pengolahan agar efisiensi pengolahan sesuai dengan perhitungan perencanaan. Secara keseluruhan, agar IPAL beroperasi sesuai yang direncanakan, perlu dilakukan hal berikut.

1. Menyusun SOP sesuai dengan peruntukan masing-masing unit pengolahan
2. Melakukan monitoring debit influen dan efluen IPAL setiap hari
3. Melakukan monitoring kualitas influen dan efluen IPAL setiap bulan
4. Melakukan evaluasi kesesuaian kondisi eksisting IPAL dengan kriteria desain

5.1 *Grease Trap*

- *Grease trap* harus dipasang di bawah tempat pencucian di dapur, sebelum air limbah masuk ke pipa pembuangan menuju IPAL.
- Sesuai dengan perencanaan, minyak dan lemak pada *grease trap* harus dibersihkan rutin setiap minggu.
- Hasil pembersihan ditempatkan dalam plastik dan dibuang ke tempat sampah.

5.2 Bak Pengendap Awal

- Dapat digunakan langsung; tidak membutuhkan perlakuan khusus sebelum penggunaannya.

- Sesuai dengan perencanaan, pengurasan lumpur harus dilakukan setiap 2 tahun.
- Saat melakukan pengurasan, lumpur yang masih aktif harus dibiarkan dalam bak agar proses dekomposisi selanjutnya dapat berlangsung kontinu. Tidak perlu menguras air limbahnya juga. Pipa harus diletakkan pada bagian terbawah bak agar yang terambil adalah lumpur yang sudah tidak aktif.
- Lumpur yang dikuras harus dibuang ke Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT)

5.3 Anaerobic Filter

- Dibutuhkan *start-up* menggunakan lumpur aktif (misalnya dari tangki septik) yang disebarakan pada permukaan media filter
- Jika dimungkinkan, *start-up* dilakukan dengan hanya seperempat debit air limbah, dan dinaikkan perlahan hingga tiga bulan
- Jika metode *start up* sebelumnya tidak dapat dilakukan, unit pengolahan baru bisa digunakan pada kapasitas penuh setelah enam hingga 9 bulan
- Pengurasan lumpur harus dilakukan secara teratur (seperti 6 bulan sekali) dengan melakukan pembersihan pada separuh dari media filter. Hal ini untuk mempertahankan mikroorganisme aktif pada sebagian media, sehingga proses pengolahan setelah pembersihan tidak terganggu.
- Lumpur yang dikuras harus dibuang ke Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT)

5.4 Aerasi

- Dibutuhkan blower udara utama sesuai dengan kebutuhan udara desain, dan blower udara sebagai cadangan apabila blower utama dalam proses perawatan. Kedua blower juga dapat dioperasikan secara bergantian
- Pada *start-up*, perlu pengecekan difusi udara pada bak aerasi, apakah sudah merata atau belum. Aerasi yang tidak merata akan mengganggu proses oksidasi.
- Perlu dilakukan pengurasan secara teratur pada bak pengendap akhir

5.5 Disinfeksi

- Debit pembubuhan klorin harus sesuai dengan perhitungan perencanaan untuk menghindari kelebihan klor pada efluen IPAL
- Kecepatan pengadukan pada *mixer* harus diatur agar tidak terjadi turbulensi saat waktu kontak
- Perlu dilakukan pengurasan secara teratur pada bak klorinasi

Halaman ini sengaja dikosongkan

6 Teknologi Bersih

6.1 Pendahuluan

Strategi pembangunan Nasional di Indonesia yang berkelanjutan bertujuan untuk meningkatkan kualitas hidup serta perlindungan lingkungan, dengan cara menjaga sumber alam dan kualitas lingkungan. Prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan, yaitu mempertimbangkan aspek lingkungan sedini mungkin pada proses pembangunan, pencegahan terhadap dampak lebih baik dari pengendalian, dengan memperhatikan aspek lingkungan pada setiap tahap pembangunan, penerapan prinsip efisiensi dan konservasi terhadap penggunaan sumber alam, mengurangi biaya-biaya lingkungan, pengurangan limbah dan energi.

Pada awalnya konsep pengelolaan lingkungan didasarkan pada pendekatan kapasitas daya dukung (*Carrying Capacity Approach*) akibat terbatasnya daya dukung alamiah untuk menetralsir pencemaran yang semakin meningkat. Kemudian upaya dalam mengatasi masalah pencemaran berubah menjadi paradigma pendekatan pengolahan limbah yang terbentuk (*End Of Pipe Treatment*). Akan tetapi pada kenyataannya paradigma tersebut, tidak memecahkan permasalahan yang ada dan dalam prakteknya pendekatan pengolahan limbah mengalami berbagai kendala. Kendala tersebut akibat dari: rendahnya pentaatan dan penegakan hukum dan peraturan, lemahnya perangkat, peraturan yang tersedia, rendahnya tingkat kesadaran, sifatnya reaktif atau bereaksi dan setelah limbah itu terbentuk, memerlukan biaya investasi, operasi dan pemeliharaan relatif tinggi. Hal tersebut akhirnya dijadikan sebagai salah satu alasan mengapa

kalangan industri tidak atau belum dapat melaksanakan pengelolaan lingkungan secara optimal.

Pengendalian pencemaran dengan penerapan teknologi yang umum dilaksanakan pada saat ini adalah 'teknologi perlakuan akhir' atau '*end-of-pipe treatment technology*'. Konsep ini merupakan konsep perintah dan pengendalian [*command and control*] yang hanya meninjau pembebanan pada salah satu media udara, air, atau tanah dan menyelesaikan satu salah satu media udara, air, atau tanah dan menyelesaikan satu masalah yang tertuju pada suatu kegiatan. Pemikiran yang parsial ini sering menimbulkan masalah, karena penanganan hanya berdasarkan pengelolaan paling mudah.

Pada awalnya konsep pengelolaan lingkungan didasarkan pada pendekatan kapasitas daya dukung (*Carrying Capacity Approach*) akibat terbatasnya daya dukung alamiah untuk menetralsir pencemaran yang semakin meningkat. Kemudian upaya dalam mengatasi masalah pencemaran berubah menjadi paradigma pendekatan pengolahan limbah yang terbentuk (*End Of Pipe Treatment*). Akan tetapi pada kenyataannya paradigma tersebut, tidak memecahkan permasalahan yang ada dan dalam prakteknya pendekatan pengolahan limbah mengalami berbagai kendala. Kendala tersebut akibat dari : rendahnya pentaatan dan penegakan hukum dan peraturan, lemahnya perangkat, peraturan yang tersedia, rendahnya tingkat kesadaran, sifatnya reaktif atau bereaksi dan setelah limbah itu terbentuk, memerlukan biaya investasi, operasi dan pemeliharaan relatif tinggi. Hal tersebut akhirnya dijadikan sebagai salah satu alasan mengapa kalangan industri tidak atau belum dapat melaksanakan pengelolaan lingkungan secara optimal.

Pengendalian pencemaran dengan penerapan teknologi yang umum dilaksanakan pada saat ini adalah 'teknologi

perlakuan akhir' atau '*end-of-pipe treatment technology*'. Konsep ini merupakan konsep perintah dan pengendalian (*command and control*) hanya meninjau pembebanan pada salah satu media udara, air, atau tanah dan menyelesaikan satu salah satu media udara, air, atau tanah dan menyelesaikan satu masalah yang tertuju pada suatu kegiatan. Berikut pemikirannya juga masih parsial yang sering menimbulkan masalah, karena penanganan hanya berdasarkan pada pengelolaan yang paling mudah. Selain daripada itu, implementasi kebijakan nasional untuk pengelolaan lingkungan hidup juga masih berfokus pada peraturan-peraturan lingkungan hidup yaitu dengan pengelolaan secara tepat bahan-bahan pencemar, yang ditekankan pada aspek pengendalian dampak daripada pengendalian sumber, seperti pendekatan perintah dan pengendalian (*command and control*).

Segi positif implementasi dari pengembangan konsep '*end-of-pipe treatment technology*' adalah dalam bentuk kepedulian terhadap isu-isu lingkungan meningkat adalah memacu pertumbuhan konsultan teknik dan pembuat peralatan yang berkaitan dengan unit pengolahan baik limbah fasa gas atau limbah cair. Hal ini menggembirakan, karena jarang didukung oleh kemampuan analisis yang memadai dari konsultan untuk menyelesaikan analisis yang memadai dari konsultan untuk menyelesaikan masalah pada kegagalan operasi, karena seringkali konsultan teknik ini hanya sebagai penjual teknologi atau peralatan saja. Sebagai akibatnya, sasaran pengelolaan lingkungan dengan pengendalian pencemaran ini tidak dapat dicapai secara menyeluruh. Akan tetapi segi negatifnya adalah kesulitan dalam penegakan hukum dan program penataan peraturan serta penyebab lainnya seperti kegagalan sistem cost accounting yang mana belum dapatnya menilai biaya kerugian lingkungan. Akibat

inilah pengusaha, pemilik, dan pengelola industri berpendapat bahwa biaya pembangunan dan pelaksanaan suatu pengolahan limbah merupakan biaya tambahan (*external cost*). Akibat dari kendala kendala yang ada maka dalam pengelolaan lingkungan diperlukan(dipikirkan) konsep “**Produksi Bersih**”

Dasar – dasar dari konsep produksi bersih yang terkait dengan pengelolaan lingkungan meliputi 4 prinsip dasar, yaitu:

1. Prinsip kehati-hatian (*precautionary*): tanggung jawab yang utuh dari produsen agar tidak menimbulkan dampak yang merugikan sekecil apapun.
2. Prinsip Pencegahan (*preventive*): penting untuk memahami siklus hidup produk (*product life cycle*) dari mulai pemilihan bahan baku hingga terbentuknya limbah.
3. Prinsip demokrasi: komitmen dan keterlibatan semua pihak dalam rantai produksi dan konsumsi.
4. Prinsip *holistik*: pentingnya keterpaduan dalam pemanfaatan sumber daya lingkungan dan konsumsi sebagai satu daur yang tidak dapat dipisah-pisahkan

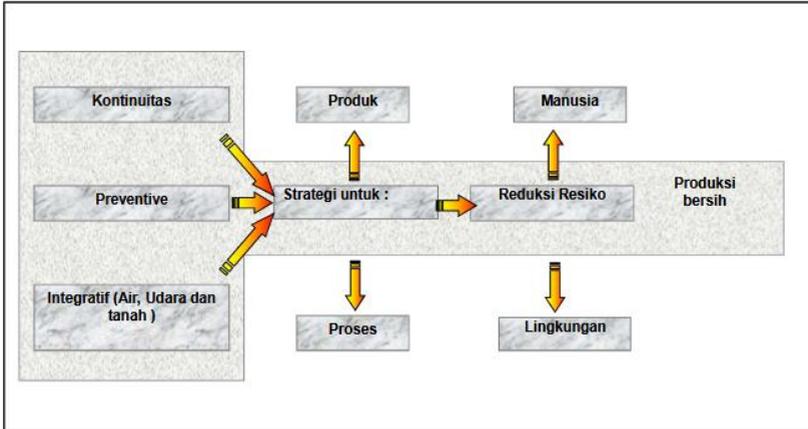
Dari uraian konsep dasar produksi bersih diatas, maka definisi produksi bersih adalah sebagai berikut :

- Segala upaya yang dapat mengurangi jumlah bahan berbahaya, polutan atau kontaminan yang terbuang melalui saluran pembuangan limbah atau terlepas ke lingkungan (termasuk emisi-emisi yang cepat menguap di udara) sebelum didaur ulang, diolah atau dibuang (**ICIP**).
- Suatu strategi pengelolaan lingkungan yang bersifat preventif dan terpadu yang perlu diterapkan secara terus-menerus pada proses produksi dan daur hidup produk dengan tujuan untuk mengurangi resiko terhadap manusia dan lingkungan (BAPEDAL 1996).

- Suatu konsep *holistik* bagaimana suatu produk dirancang dan dikonsumsi secara benar tanpa mengakibatkan kerusakan lingkungan (Thorpe, 1999)

Selanjutnya element esensi dasar dari produksi bersih yang digambarkan seperti pada Gambar 6.1. *Element Esensial* Dari Strategi Produksi Bersih, adalah sebagai berikut

- Pencegahan, pengurangan dan penghilangan limbah dari sumbernya.
- Perubahan mendasar pada sikap manajemen dan diperlukan komitmen.
- Pencegahan polusi harus dilaksanakan sedini mungkin, pada setiap tahapan kegiatan yaitu pada pembuatan peraturan, kebijakan, implementasi proyek, proses produksi dan desain produk.
- Program harus dilaksanakan secara kontinyu dan selaras dengan perkembangan sains dan teknologi.
- Penerapan strategi yang komprehensif dan terpadu, agar produk dapat bersaing di pasar lokal dan internasional.
- Produksi bersih hendaknya melibatkan pertimbangan daur hidup suatu produk.
- Program multi media dan multi disiplin.
- Diterapkan di seluruh sektor : industri, pemerintah, pertanian, energi, transportasi, para konsumen



Gambar 6.1. *Element Esensial* Dari Strategi Produksi Bersih

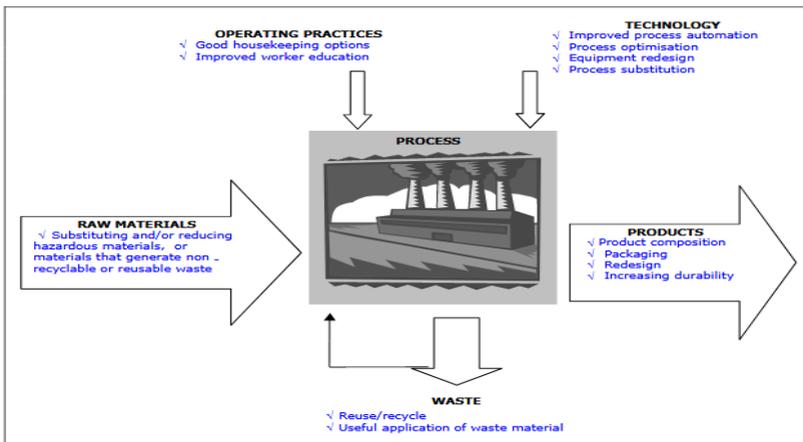
Berdasarkan pada konsep produksi bersih, maka diperlukan teknologi bersih yang didefinisikan sebagai berikut :

“Strategi pengelolaan lingkungan yang bersifat preventif dan terpadu yang diterapkan secara terus menerus pada proses produksi, produk dan jasa sehingga meningkatkan ekofisiensi dan mengurangi terjadinya resiko terhadap manusia dan lingkungan (UNEP)”.

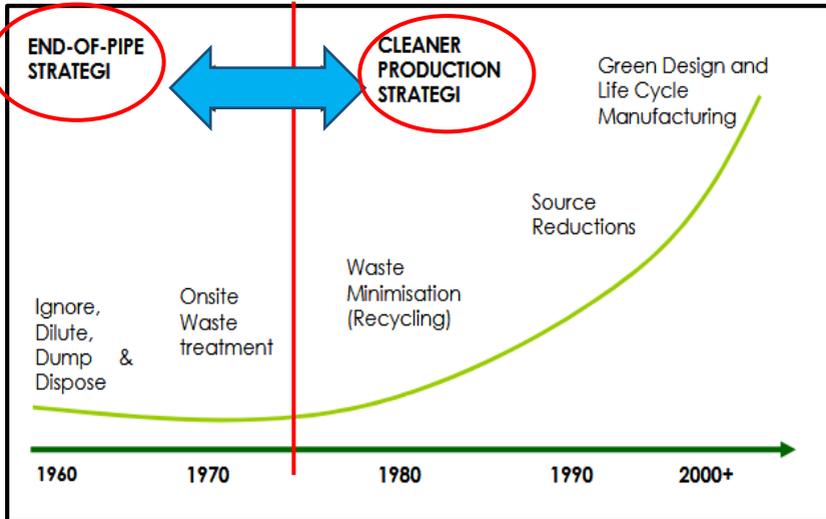
Berdasar pada uraian awal bahwa pengelolaan lingkungan yang didasarkan pada pendekatan kapasitas daya dukung (*Carrying Capacity Approach*) akibat terbatasnya daya dukung alamiah untuk menetralsisir pencemaran yang semakin meningkat atau upaya dalam mengatasi masalah pencemaran berubah dari paradigma pendekatan pengolahan limbah yang terbentuk (*End Of Pipe Treatment*) menjadi pengelolaan lingkungan yang bertanggung jawab dengan penilaian pilihan teknologi bersih yang selanjutnya dikenal dengan produksi bersih (*Cleaneer Production*). Untuk Pilihan Teknologi Bersih dapat dilihat pada Gambar 6.2.

Konsep ini memiliki *hierarchy* di mana *recycle* harus dilakukan langsung (*in-pipe recycle*). Jadi penyelesaian

masalah lingkungan ditekankan pada sumber pencemaran bukan pada akhir proses seperti pada *end-of-pipe treatment technology* (Lihat Gambar 6.3.). Konsep dengan menggunakan teknologi bersih ini meliputi pemanfaatan sumber alam secara efisien yang bermakna pula bagi penyusutan limbah yang dihasilkan, pencemaran, dan penyusutan risiko bagi kesehatan dan keselamatan manusia. Konsep ini tidak selalu membutuhkan kegiatan yang mahal atau teknologi canggih tetapi sering kali menghasilkan penghematan yang potensial sehingga meningkatkan daya saing di pasar. Selanjutnya konsep ini membutuhkan perubahan sikap, pengelolaan lingkungan yang bertanggung-jawab dan penilaian pilihan teknologi yang disusun dengan strategi produksi bersih yang sederhana bertahap dari mulai *waste minimization (recycling)*, *source reduction*, dan *greendesain* dan *life cycle manufacturing* serta diterapkan dengan *good housekeeping*.



Gambar 6.2 Pilihan Teknologi Bersih



Gambar 6.3 Strategi Produksi Bersih

Selanjutnya upaya pelaksanaan produksi bersih dalam pengelolaan lingkungan adalah meliputi :

1. *Substitusi Bahan Baku dan Bahan Pembantu*

Substitusi bahan baku dan bahan pembantu dalam sebuah kegiatan dapat dilakukan dengan :

- Mengganti bahan baku yang mengandung bahan berbahaya dengan bahan yang tidak atau lebih sedikit mengandung bahan berbahaya dan beracun (B-3)
- Mengganti bahan pelarut dan bahan pembersih yang mengandung bahan berbahaya.

2. *Memperbaiki Sistem Tata Rumah Tangga*

Upaya memperbaiki sistem tata rumah tangga dalam sebuah kegiatan dapat dilakukan dengan :

- Mengurangi kehilangan bahan baku, produk dan energi sebagai akibat adanya kebocoran, dan tumpahan.

- Mengurangi kehilangan bahan baku, produk dan energi sebagai akibat adanya kebocoran, dan tumpahan.
- Menempatkan peralatan dengan baik untuk menghindari terjadinya tumpahan dan menghindari terjadinya tumpahan dan kontaminasi.
- Menyediakan dan menggunakan penampung tetesan, tumpahan dan kebocoran. Mencegah tercampurnya aliran limbah dari sumber yang berbeda.

3. *Modifikasi Produk*

Modifikasi terhadap produk yang dihasilkan dari suatu kegiatan produksi dilakukan dengan :

- Memformulasikan kembali rancangan produk untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan setelah produk tersebut dipakai.
- Menghilangkan kemasan yang berlebihan dan tidak perlu.
- Meningkatkan masa pakai produk (*product life time*).
- Mendisain produk sehingga produk tersebut dapat didaur ulang.

4. *Modifikasi Proses*

Modifikasi terhadap proses pengolahan dari suatu kegiatan produksi dilakukan

dengan :

- Mengganti peralatan yang rusak dan perbaikan tata letaknya untuk mengoptimalkan aliran bahan dan efisiensi produk.
- Memperbaiki kondisi proses seperti kecepatan aliran, temperatur, tekanan dan waktu aliran, temperatur, tekanan dan waktu penyimpanan, untuk

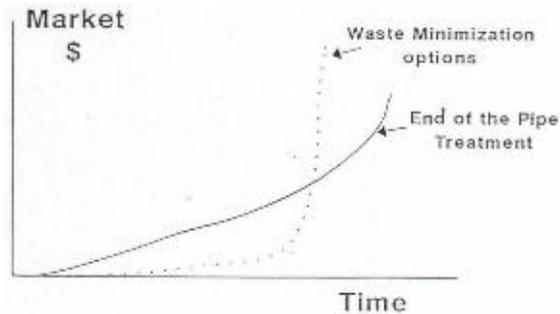
memperbaiki kualitas produk akhir dan mengurangi terbentuknya limbah.

Dalam implementasi produksi bersih terdapat keuntungan dan kerugian yang terjadi yaitu :

- *Keuntungan Dalam Penerapan Teknologi Bersih*
 1. Meningkatkan efisiensi.
 2. Mengurangi Biaya Pengolahan Limbah.
 3. Konsevasi Bahan Baku dan Energi.
 4. Membantu Akses Kepada Lembaga Finansial.
 5. Membantu Akses Kepada Lembaga Finansial.
 6. Memenuhi Permintaan Pasar.
 7. Memperbaiki Kualitas Lingkungan.
 8. Memenuhi Peraturan Lingkungan.
 9. Memperbaiki Lingkungan Kerja.
 10. Meningkatkan Persepsi Masyarakat

- *Kerugian Dalam Penerapan Teknologi Bersih*
 1. *Longer time scala needed highrisk*
 2. Prosedurnya lebih kompleks
 3. *Unfamiliar to regulators*

Jadi dari kedua konsep pengelolaan lingkungan masing masing memiliki keuntungan dan kerugian. Untuk memperjelas perbedaan keuntungan dan kerugian dalam pengelolaan lingkungan dengan *end of pipe* dan produksi bersih dapat dilihat pada Gambar 6.4. berikut.



	keuntungan	kerugian
Produksi bersih	<ul style="list-style-type: none"> Long term solution Energy/materials savings Waste disposal savings Improved worker protection 	<ul style="list-style-type: none"> Longer timescale needed High risk More complex procedures Unfamiliar to regulators
End of Pipe	<ul style="list-style-type: none"> Meets short timescales Straightforward procedures Low risk Understood by regulators 	<ul style="list-style-type: none"> Short term solution Transfers problem to other media Reactive

Gambar Diagram 6.4. Keuntungan & Kerugian Produksi Bersih & End Of Pipe Treatment

Selanjutnya dalam mengimplementasikan produksi bersih juga ditetapkan prioritas dalam penanganan masalah limbah, sebagai berikut :

1. Menghilangkan atau mengurangi timbulan limbah di sumbernya (di hulu proses industri) baik in-process maupun daur ulang *closed-loop*.
2. Mendaur ulang limbah : di industri/pabrik itu sendiri, atau di tempat lain.
3. Menggunakan teknologi pengolahan limbah yang aman guna mengurangi toksisitas, mobilitas atau mengurangi volume limbah.

4. Menyingkirkan (dispose) limbah ke lingkungan dengan menggunakan metode rekayasa yang baik dan aman.
5. *Recovery* tanah dan air tanah yang tercemar (remediasi)

Dalam pengelolaan limbah timbul suatu pertanyaan apakah apakah limbah merupakan masalah lingkungan atau masalah ekonomi? Limbah merupakan kehilangan karena merupakan bahan baku hilang menjadi limbah, memerlukan biaya buruh hilang percuma dan memerlukan penanganan limbah mahal. Biaya penanganan limbah sering melebihi biaya upah buruh. Jadi, limbah adalah masalah ekonomi karenanya reduksi limbah memberikan keuntungan yang kompetitif.

Sedangkan pada proses dalam teknologi bersih lebih efisien dalam menggunakan sumber daya dan penggunaan bahan. Teknologi bersih juga dapat mengurangi rusaknya material, dan untuk *recovery* serta reuse umumnya berasal dari material *recycle* limbah yang terbentuk. Oleh karena itu dalam implementasi produksi bersih diperlukan strategi teknologi bersih karena :

- Sumber daya alam yang semakin langka, terlebih lebih sumber daya alam yang tak terbarukan,
- Strategi yang dilakukan perubahan input bahan baku ke sistem untuk mengurangi penggunaan bahan-bahan kimia toksik (beracun).
- Mereduksi limbah dengan efisiensi konversi bahan baku menjadi produk dan produk samping (*by-product*) yang bermanfaat.
- Merubah rancangan, komposisi atau pengemasan produk.

Sedangkan fokus dari teknik produksi bersih adalah:

- Pengurangan limbah dari sumbernya

- Prosedur : *Refine, Reduce, Reuse, Recycle, Recovery, Rethink* (6R)

Implementasi produksi bersih pada produk, meliputi :

- Mengurangi bahan-bahan yang masuk,
- Memilih material alternatif yang berdampak paling kecil terhadap lingkungan dalam daur hidupnya
- Menjadikan lebih berguna
- Meningkatkan efisiensi dalam proses operasi
- Meningkatkan produk untuk agar mudah untuk dilakukan *recycle*
- Mengurangi atau mencari alternatif kemasan
- Efisiensi dalam distribusi dan penyaluran

Implementasi pada pemisahan limbah disumber, yaitu :

- Hindari campuran limbah B3 dengan non B3
- Limbah yang berbentuk padatan : tidak dilembabkan
- Pemberian label, tanda pada tumpukan atau kontainer limbah B3

Implementasi pada penggunaan raw material

- Meminimalkan penggunaan raw material yang diekstraksi atau dipurifikasi
- Menghasilkan residu dalam jumlah besar atau purifikasinya menghasilkan residu dalam jumlah besar.

Perubahan dalam bahan baku, peralatan, prosedur operasi, cara penyimpanan bahan, misalnya penggantian pelarut organik dengan pelarut lain (air), penggantian bahan baku kualitas lebih tinggi, sehingga limbah berbahaya dapat dihindari

Prinsip Reduksi Limbah

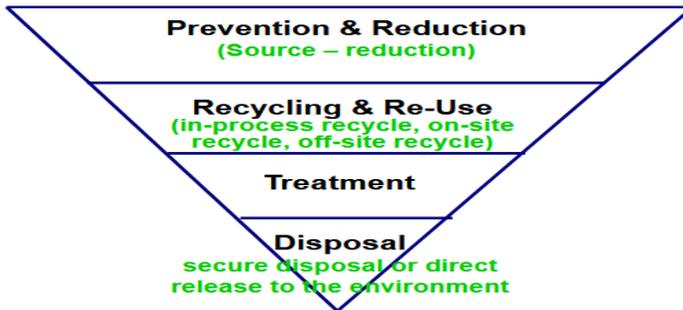
Reduce : gunakan lebih sedikit bahan

Reuse : Di lain *batch* untuk produk yang sama

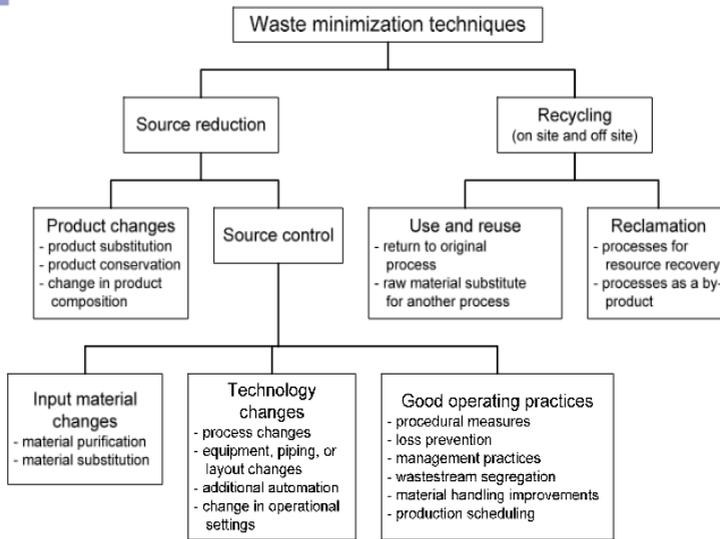
Remake: bila tidak *reuse*, *rework* ke dalam produk yang lebih murah

Recycle: *reintroduce* bahan bekas bersama bahan baku baru walaupun tidak selalu ekonomis, namun berwawasan lingkungan.

Implementasi produksi bersih dengan reduksi limbah dan waste minimization techniques sebetulnya tidak mahal dan tidak membutuhkan modal yang besar. Dan yang dibutuhkan adalah merubah perilaku dalam berusaha. Berikut Gambar 6.5. *pollution prevention hierarchy* dan Gambar 6.6. *Waste Minimization Techniques*.



Gambar 6.5. *Pollution Prevention Hierarchy*



Gambar 6.6. *Waste Minimization Techniques*

6.2 Contoh Produksi Bersih pada Kegiatan Perhotelan

Salah satu contoh proses pengolahan air limbah yang menggunakan konsep produksi bersih adalah pada sub bab 3.1.1 Alternatif 1 dimana tidak ada air limbah yang dibuang ke badan air dan semua hasil pengolahan air limbah dimanfaatkan kembali. Contoh lainnya adalah dengan memanfaatkan efluen IPAL sebagai air *flushing* toilet. Keuntungan dari penggunaan kembali (*reuse air*) ini adalah:

- Mengurangi penggunaan air bersih dari PDAM
- Tidak menambah beban badan air dalam menampung buangan air limbah

Sedangkan investasi awal yang harus dilakukan adalah:

- Memasang system plambing untuk mengalirkan efluen IPAL ke toilet-toilet dalam bangunan hotel

- Menambahkan unit filter tambahan setelah desinfeksi, seperti diagram alir proses pengolahan pada Gambar 3.3.

Studi kasus pemanfaatan kembali efluen IPAL untuk flushing toilet telah dilakukan di Hotel Z di Surabaya oleh Praptiwi (2017). Untuk membangun system plambing pada hotel budget dengan 150 kamar dibutuhkan sekitar Rp 112.912.751,00 sebagai biaya investasi. Mengingat air limbah yang dihasilkan dari penggunaan air bersih mencapai 90%, pemanfaatan kembali efluen IPAL sangat disarankan untuk kegiatan perhotelan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Daftar Pustaka

- Agustiningsih, D., Sasongko, S.B., dan Sudarno. 2012. *Analisis Kualitas Air dan Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Blukar Kabupaten Kendal*. Jurnal Presipitasi, 9(2), 54-71
- Agustira, R., Lubis, K. S., dan Jamilah. 2013. *Kajian Karakteristik Kimia Air, Fisika Air, dan Debit Sungai pada Kawasan DAS Padang Akibat Pembuangan Limbah Tapioka*. Jurnal Online Agroekoteknologi, 1(3)
- Anonim.2015.*Perkembangan Bisnis Perhotelan dan Pariwisata di Indonesia*.<https://jenishotel.info/perkembangan-bisnis-perhotelan-dan-pariwisata-di-indonesia>. Diakses pada 4 Mei 2019
- Anonim.2018. *Jumlah Wisatawan ke Surabaya Lampau Target*.<https://www.jpnn.com/news/jumlah-wisatawan-ke-surabaya-lampau-target>. Diakses pada 4 Mei 2019
- Ekaningrum, Yuniawati. 2016. *Manajemen Hotel*. Surabaya: NSC Press
- Fatemeh, D., Reza, Z. M., Mohammad, A., Salomeh, K., Reza, A., Hossein, S., Maryam, S., Azam, A., Mana, S., Negin, N., Saeed, K.A. 2014. *Rapid Detection of Coliforms in Drinking Water of Arak City Using Multiplex PCR Method in Comparison with the Standard Method of Culture (Most Probability Number)*. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 4(5), 404-409
- Gazali, I., Widiatmono, R. B., dan Wirosoedarmo, R. 2013. *Evaluasi Dampak Pembuangan Limbah Cair Pabrik Kertas Terhadap Kualitas Air Sungai Klintar Kabupaten Nganjuk*. Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis dan Biositem, 1, 1-8
- Hardiana, S. dan Mukimin, A. 2014. *Pengembangan Metode Analisis Parameter Minyak dan Lemak pada Contoh Uji Air*. Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

- Mara, Duncan. 2004. *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. United Kingdom: Earthscan
- Mubarak, A., Huma, A., Ahmad, A., Ahmad, K., Inamul-Haq. 2018. *Zero Discharge Concepts in Five Star Hotel – A Case Study*. *Journal of Engineering Research and Application*, 8 (7) pp 13-20
- Natalia, L. A., Bintari, S. H., Mustikaningtyas, D. 2014. *Kajian Kualitas Bakteriologis Air Minum Isi Ulang di Kabupaten Blora*. *Unnes Journal of Life Science*, 3(1)
- Ngili, Y. 2009. *Biokimia Struktur dan Fungsi Biomolekul*. 1st Edition. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.68/Menlhk-Setjen/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik
- Peraturan Menteri Pariwisata dan Ekonomi Kreatif Nomor PM.53/HM.001/MPEK/2013 tentang Standar Usaha Hotel
- Prabowo, Hutomo Dwi., dan Purwanti, Ipung Fitri. 2015. *Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah Hotel X di Surabaya*. *Jurnal Teknik ITS*, 6 (1)
- Ridwan, Andry. 2014. *Studi Analisis Kebutuhan Air Sektor Nondomestik Kategori Hotel di Wilayah Kecamatan Ujung Pandang*. Tugas Akhir Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
- Salanto, Ferry. 2018. *Surabaya Hotel H1 2018*. Colliers International
- Sastrawijaya, A.T. 2000. *Pencemaran Lingkungan*. Jakarta: Rineka Cipta
- Sembiring, Meskardo., dan Fikriani. 2015. *Omset Berlipat dari Bisnis Hotel, Tur, dan Travel*. Yogyakarta: Cemerlang Publishing
- Setiyono. 2009. *Desain Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah dan Re-use Air di Lingkungan Perhotelan*. *JAI*, 5(2)
- Siswanto, Darmayanti, Lita., Handayani, Yohana Lilis., dan Ridwan, Mohammad. 2014. *Pengolahan Air Limbah Hotel dengan Metode Free Surface Constructed Wetland*

- Menggunakan Tumbuhan Equisetum hymale*. Jurnal Teknobiologi 1, 37-42
- Sulistiyono, Agus. 2011. *Manajemen Penyelenggaraan Hotel: Manajemen Hotel*. Bandung: Alfabeta
- Suwithi, Ni Wayan. 2013. *Industri Perhotelan Kelas X Semester 1*. Jakarta: Tim
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., and Stendel, H.D. 2004. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse. 4th Edition*. New York: McGraw-Hill Education
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., and Stendel, H.D. 2014. *Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery. 5th Edition*. New York: McGraw-Hill Education
- Tilley, E., Ulrich, L., Luthi, C., Reymond, P., Zurburgg, C. 2014. *Compendium of Sanitation Systems and Technologies. 2nd Revised Edition*. The Sustainable Sanitation Alliance (SuSanA) and the International Water Association (IWA)
- Wahyuni, E.A. 2015. *The Influence of pH Characteristics on the Occurance of Coliform Bacteria in Madura Strait*. Jurnal Kesehatan Andalas, 1(3)