

**PELUANG PENERAPAN PRODUKSI BERSIH
PADA SISTEM PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK
WASTE WATER TREATMENT PLANT #48,
STUDI KASUS DI PT BADAK NGL BONTANG**



Tesis

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
Mencapai derajat Sarjana S-2 pada
Program Studi Ilmu Lingkungan

**YULI GUNAWAN
L4K005026**

**PROGRAM MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2006**

LEMBAR PENGESAHAN

**PELUANG PENERAPAN PRODUKSI BERSIH
PADA SISTEM PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK
WASTE WATER TREATMENT PLANT #48,
STUDI KASUS DI PT BADAQ NGL BONTANG**

Disusun Oleh

**YULI GUNAWAN
L4K005026**

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
Pada tanggal 30 Desember 2006
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Ketua

Tanda Tangan

DR. Ir. Setia Budi Sasongko, DEA

.....

Anggota

1. Ir. Agus Hadiyanto, MT

.....

2. Dr. Ir. Purwanto, DEA

.....

3. Ir. Dwi Handayani, MT

.....

**Mengetahui
Ketua Program
Magister Ilmu Lingkungan,**

Prof. Dr. Sudharto P. Hadi, MES

PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis yang saya susun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Magister dari Program Magister Ilmu Lingkungan seluruhnya merupakan karya saya sendiri.

Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Tesis yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian tesis ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiat dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya sandang dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku

Semarang, 26 Desember 2006

Yuli Gunawan

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN BIODATA PENULIS	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
ABSTRAK	xii
KATA KUNCI	xiv
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Manfaat Penelitian	5
1.5. Originalitas Penelitian	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Limbah dan Pencemaran Air	7
2.2. Sumber Limbah	8
2.3. Sifat-sifat Air Limbah	9
2.3.1. Sifat Fisik	10
2.3.2. Sifat Kimia	10
2.3.3. Sifat Biologi	19
2.4. Dampak Negatif Air Limbah	21

2.5.	Teknik Pengolahan Limbah Cair	22
2.5.1.	Pengolahan Awal dan Tahap Pertama	22
2.5.2.	Pengolahan Limbah Cair Tahap Kedua	25
2.5.3.	Lumpur Aktif	26
2.5.4.	Laguna Teraerasi (<i>Aerated lagoons</i>)	31
2.5.5.	Saringan Percik (<i>Trickling Filters</i>)	33
2.5.6.	Kontaktor Biologis Putar (<i>Rotary Biological Contactors</i>)	34
2.5.7.	PACT (<i>Powdered Activated Carbon Treatment</i>)	36
2.5.8.	SBR (<i>Sequencing Batch Reactor</i>)	37
2.6.	Perkembangan Teknologi Pengolahan Limbah Cair	40
2.7.	Pemanfaatan Kembali Air Limbah	44
2.7.1.	Potensi dan Kendala Dalam Pemanfaatan Kembali Air Limbah	44
2.7.2.	Pertanian dan Irigasi Lansekap	45
2.7.3.	Pemanfaatan Kembali Air Limbah Dalam Industri	46
2.7.4.	<i>Ground Water Recharge</i>	46
2.7.5.	Pemanfaatan Untuk Air Minum	47
2.8.	Produksi Bersih	47
2.9.	Penerapan Produksi Bersih Di Kawasan Industri	51
2.10.	Penerapan Produksi Bersih Pada Industri	52
III.	METODE PENELITIAN	
3.1.	Rancangan Penelitian	55
3.2.	Waktu dan Tempat Penelitian	59
3.3.	Ruang Lingkup Penelitian	59
3.4.	Jenis dan Sumber Data	60
3.5.	Metode Analisis Kimia	60
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	61
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	103
VI.	DAFTAR PUSTAKA	105

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1. Konstituen Dalam Air Limbah Domestik	9
Tabel 4.1. Analisis SWOT Terhadap WWTP #48	76
Tabel 4.2. Hasil Analisis <i>Influent</i> dan <i>Effluent Sewage Plant 1</i>	80
Tabel 4.3. Hasil Analisis <i>Influent</i> dan <i>Effluent Sewage Plant 2</i>	81
Tabel 4.4. Hasil Analisis <i>Influent</i> dan <i>Effluent Sewage Plant 3</i>	82
Tabel 4.5. Perbandingan Kondisi Perancangan Dengan Kondisi Aktual Operasi <i>Sewage Plant 1</i>	84
Tabel 4.6. Perbandingan Kondisi Perancangan Dengan Kondisi Aktual Operasi <i>Sewage Plant 2</i>	85
Tabel 4.7. Perbandingan Kondisi Perancangan Dengan Kondisi Aktual Operasi <i>Sewage Plant 3</i>	87
Tabel 4.8. Persentase Pembebanan Aktual Terhadap Kapasitas Desain	87
Tabel 4.9. Biaya Pemakaian Energi Listrik Per Hari Dari Kapasitas Terpasang	89
Tabel 4.10. Biaya Pemakaian Energi Listrik Per Hari Dari Kapasitas Terpakai	89
Tabel 4.11. Hasil Analisis <i>Influent</i> dan <i>Effluent</i> Pada Saat <i>Sewage Plant 1</i> dan <i>Sewage Plant 2</i> dioperasikan dan <i>Sewage Plant 3</i> di stop	89
Tabel 4.12. Hasil Analisis <i>Influent</i> dan <i>Effluent</i> Pada Saat <i>Sewage Plant 2</i> dan <i>Sewage Plant 3</i> dioperasikan dan <i>Sewage Plant 1</i> di stop	90
Tabel 4.13. Hasil Analisis <i>Influent</i> dan <i>Effluent</i> Pada Saat <i>Sewage Plant 1</i> dan <i>Sewage Plant 3</i> dioperasikan dan <i>Sewage Plant 2</i> di stop	90
Tabel 4.14. Penghematan Dengan Pengoperasian 2 Unit	91
Tabel 4.15. Konsentrasi Klorin Bebas <i>Effluent Sewage Plant 1/2/3</i>	92
Tabel 4.16. Biaya Proses Klorinasi Per Tahun	93
Tabel 4.17. Kualitas <i>Efluent Sewage Plant 1/2/3</i>	95
Tabel 4.18. Kriteria Air Umpan Boiler	96
Tabel 4.19. Hasil Uni Mikrobiologi <i>Efluent Sewage 1/2/3</i>	97

DAFTAR GAMBAR

	Halaman	
Gambar 1.1.	Oksidasi Biologis Sempurna dari Buangan Organik	26
Gambar 2.1.	Proses Pengolahan Biologis Kontinyu Tanpa Daur Ulang	28
Gambar 2.3.	Beberapa Sistem Pengolahan Dengan Lumpur Aktif	31
Gambar 2.4.	Konfigurasi Laguna	33
Gambar 2.5.	Skema Proses Didalam Suatu Saringan Percik	33
Gambar 2.6.	Sistem Aliran Percik	34
Gambar 2.7.	Kontaktor Biologis Putar Yang Dioperasikan Secara Seri	35
Gambar 2.8.	Skema Pengoperasian Sequencing Batch Reaktor	38
Gambar 3.1.	Diagram Alir Kajian Efisiensi	55
Gambar 3.2.	Skema Penelitian	57
Gambar 3.3.	Skenario Eksperimen Lapangan Pertama	58
Gambar 3.4.	Skenario Eksperimen Lapangan Kedua	58
Gambar 3.5.	Skenario Eksperimen Lapangan Ketiga	59
Gambar 4.1.	Diagram Alir Alur Air Limbah Domestik	61
Gambar 4.2.	Unit <i>Sewage Plant</i> 1	63
Gambar 4.3.	Diagram Alir <i>Sewage Plant</i> 1	66
Gambar 4.4.	Unit <i>Sewage Plant</i> 2	67
Gambar 4.5.	Diagram Alir <i>Sewage Plant</i> 2	69
Gambar 4.6.	Unit <i>Sewage Plant</i> 3	71
Gambar 4.7.	Diagram Alir <i>Sewage Plant</i> 3	75
Gambar 4.8.	Proses Pengolahan <i>Efluent</i> Sewage 1/2/3 Sebagai Bahan Baku Air Umpan Boiler	99

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Pengilangan LNG	107
Lampiran 2. Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri dan Usaha Lainnya	108

ABSTRAK

Inefisiensi pemakaian air bersih disebabkan pemakaian air bersih di perumahan PT Badak NGL cukup besar yaitu rata-rata 700 L/kapita/hari dan selama ini belum ada upaya nyata pemanfaatan kembali air *effluent* WWTP #48 yang kualitasnya relatif bagus dan jumlahnya cukup besar yaitu 2275 m³/hari. Pengoperasian WWTP #48 tidak sesuai dengan beban limbah yang masuk, dimana unit hanya bekerja 5 – 15 % dibawah kapasitas desain, sehingga pemakaian energi listrik tidak efisien. Proses klorinasi *effluent* WWTP #48 tidak efektif, dimana pemakaian Ca(OCl)₂ cukup tinggi yaitu 5475 Kg/tahun akan tetapi kandungan klorin dalam *effluent* sering dibawah spesifikasi operasi, frekuensinya 50 - 67 %.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab inefisiensi pemakaian air, energi listrik dan klorin, kemudian mengevaluasi peluang peningkatan efisiensi beserta besarnya nilainya sehubungan dengan penerapan produksi bersih.

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif yang dikombinasikan dengan eksperimen lapangan. Setelah dilakukan analisis SWOT dilakukan *Gap analysis* antara kondisi aktual dengan kondisi ideal untuk mengidentifikasi inefisiensi. Evaluasi peluang peningkatan efisiensi menggunakan strategi IE4R dan evaluasi ekonomi dilakukan untuk menghitung besarnya efisiensi.

Besarnya peluang efisiensi pemakaian air bersih sebesar 996,888,000 L/tahun atau setara dengan Rp 48,847,512/tahun, sedangkan peluang efisiensi energi listrik dan klorin adalah 45,552 – 350,400 KWH atau setara dengan Rp 22,776,000 - 175,200,000/tahun dan 3285 – 4380 Kg/tahun atau setara dengan Rp 76,540,500 – 102,054,000/tahun.

Untuk mengatasi inefisiensi pemakaian air bersih diatasi dengan perbaikan pola konsumsi, perbaikan saluran distribusi dan realisasi upaya pemakaian kembali air. Inefisiensi energi listrik diatasi dengan menyesuaikan kapasitas pengolahan unit dengan beban limbah yang masuk, sedangkan inefisiensi pemakaian klorin diatasi dengan perbaikan sistem injeksi dan optimalisasi proses pengoperasiannya.

ABSTRACT

The main cause of clean water usage inefficiency is the high level of consumption for clean water household, which is about 700 L/person/day, and there has not been real effort to recycle effluent of WWTP #48, which has proper quality with the quantity is around 2275 m³/day. The operation of WWTP #48 doesn't meet the load of influent, in which the unit only operates below design capacity which results in electrical energy inefficiency. The chlorination process of effluent of WWTP #48 is ineffective, in which the usage of Ca (OCl)₂ high enough at 5475 Kg/year. However, chlorine content in effluent is sometimes below operational specification, with frequency of 50 -67%.

The objectives of this research are to identify inefficiency factors of clean water consumption, electric energy and chlorine usage; examine the efforts to increase opportunity for efficiency; and also to calculate the value related to the cleaner production.

It is a descriptive research which is combined with a field experiment. After doing a SWOT Analysis, a *Gap analysis* that reflects its deviation between actual conditions and ideal condition has been conducted to identify inefficiency. The evaluation both on economical aspect and opportunity to boost efficiency using 1E4R strategic have been applied in order to calculate the result of efficiency effort.

The amount of potential efficiency of clean water usage is 996,888,000 L/year or Rp 48,847,512/year, while the inefficiency of the electric energy usage and chlorine usage are 45,552 – 350,400 KWH or Rp 22,776,000/year - 175,200,000/year and 3285 – 4380 Kg/year or Rp 76,540,500 – 102,054,000/year.

To overcome the inefficiency of clean water consumption, we need to improve the consumption style, improvement of distribution pipe and the realization of water recycling project. Electric energy inefficiency is overcome by adjusting the process unit capacity with the influent waste. Chlorine inefficiency is overcome by improving injection system and optimizing operation process.

KATA KUNCI

- Activated Sludge*** : Suatu metode pengolahan limbah cair secara biologis dimana prosesnya bersifat aerobik dan mikroorganismenya tumbuh secara koloni yang berupa gumpalan kecil, dalam keadaan tersuspensi koloni ini menyerupai lumpur sehingga disebut lumpur aktif.
- BOD** : *Biochemical Oxygen Demand* atau Kebutuhan Oksigen Biokimia adalah jumlah mg oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme digunakan untuk menguraikan bahan organik dalam 1 liter air.
- COD** : *Chemical Oxygen Demand* atau Kebutuhan Oksigen Kimia adalah jumlah mg oksigen yang dibutuhkan secara kimia untuk menguraikan bahan organik dalam 1 liter air.
- Effluent*** : Air yang keluar dari hasil proses pengolahan di unit pengolahan limbah cair.
- Gap Analysis*** : Suatu metode analisis untuk mengidentifikasi deviasi antara kondisi actual dengan kondisi standar acuan.
- Influent*** : Air limbah yang akan masuk dan diolah ke unit pengolahan limbah cair.
- 4R1E** : *Elimination, Reduce, Reuse, Recycle, Recovery/Reclaim* adalah salah satu strategi untuk mengidentifikasi peluang penerapan produksi bersih.
- SWOT Analysis*** : Suatu metode analisis untuk mengidentifikasi secara lebih detail hal-hal yang menjadi kekuatan, kelemahan, peluang serta ancaman.

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

PT Badak NGL merupakan perusahaan pencairan gas alam (*Liquefied Natural Gas*) yang berlokasi di Bontang Kalimantan Timur. Saat ini memiliki 8 Train (A,B,C,D,E,F,G,H) dengan kapasitas produksi 22,4 juta ton LNG per tahun. Dalam pengelolaan lingkungan hidup, PT Badak NGL mengimplementasikan Sistem Manajemen Lingkungan ISO 14001 sejak tahun 2000.

Limbah cair domestik yang berasal dari kawasan pemukiman PT Badak NGL diolah di *Waste Water Treatment Plant* # 48 (WWTP #48). Sejauh ini WWTP #48 bekerja cukup baik, semua air hasil pengolahan yang dibuang ke lingkungan selalu memenuhi SK. GUB. Kal-Tim NO. 26 Tahun 2002 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri dan Usaha Lainnya dalam Propinsi Kalimantan Timur, yang termuat dalam lampiran 1.37. Disamping telah memenuhi peraturan pemerintah yang berlaku, sampai sekarang belum terlihat adanya dampak negatif terhadap lingkungan sekitar, terutama terhadap masyarakat sekitar kilang. Respon masyarakat sekitar terhadap upaya pengelolaan lingkungan PT Badak NGL sangat positif.

Pengelolaan limbah cair di PT Badak NGL diupayakan semaksimal mungkin, walaupun demikian pihak manajemen merasa perlu melakukan studi dan evaluasi terhadap sistem pengolahan limbah cair yang ada saat ini. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi perkembangan kilang, kemungkinan pengetatan terhadap baku mutu limbah cair, atau upaya untuk meningkatkan efisiensi.

Produksi Bersih, menurut Kementerian Lingkungan Hidup, didefinisikan sebagai: Strategi pengelolaan lingkungan yang bersifat preventif, terpadu dan diterapkan secara terus-menerus pada setiap kegiatan mulai dari hulu ke hilir yang terkait dengan proses produksi, produk dan jasa untuk meningkatkan

efisiensi penggunaan sumberdaya alam, mencegah terjadinya pencemaran lingkungan dan mengurangi terbentuknya limbah pada sumbernya sehingga dapat meminimisasi resiko terhadap kesehatan dan keselamatan manusia serta kerusakan lingkungan (KLH,2003).

Pola pendekatan produksi bersih bersifat preventif atau pencegahan timbulnya pencemar, dengan melihat bagaimana suatu proses produksi dijalankan dan bagaimana daur hidup suatu produk. Pengelolaan pencemaran dimulai dengan melihat sumber timbulan limbah mulai dari bahan baku, proses produksi, produk dan transportasi sampai ke konsumen dan produk menjadi limbah. Pendekatan pengelolaan lingkungan dengan penerapan konsep produksi bersih melalui peningkatan efisiensi merupakan pola pendekatan yang dapat diterapkan untuk meningkatkan daya saing.

Penerapan produksi bersih di industri-industri, sampai saat ini hanya diterapkan pada bisnis inti (*core bussines*). Sistem pengolahan limbah seharusnya juga menggunakan teknologi bersih. Pemilihan proses untuk pengolahan limbah lebih banyak didasarkan pada biaya rendah, bukan pada dampak terhadap lingkungan. Hal tersebut berlawanan dengan apa yang diharapkan oleh masyarakat luas, bahwa unit pengolah limbah adalah membersihkan lingkungan. Ternyata unit pengolah limbah adalah seringkali menjadi sumber pencemaran.

Walaupun sudah ada kebijakan-kebijakan dan kegiatan-kegiatan yang mengarah pada penerapan produksi bersih, tetapi penerapan produksi bersih sendiri bukanlah menjadi kebijakan khusus di PT Badak NGL. Kebijakan dan kegiatan yang sejalan dengan teknologi bersih dilakukan dalam wadahnya kebijaksanaan yang lain, misalnya penerapan gugus kendali mutu atau *quality improvement program*. Disamping bukan kebijaksanaan khusus, kebijakan-kebijakan dan kegiatan-kegiatan yang sejalan tersebut lebih diprioritaskan di kilang LNG yang merupakan bisnis inti.

Sebenarnya ada potensi yang besar penerapan produksi bersih dibidang yang lain misalnya dalam sistem pengolahan air limbah. Walaupun pengolahan limbah itu sendiri merupakan bagian dari usaha penerapan produksi bersih, akan tetapi kalau dilihat lebih mendalam sebenarnya kita dapat menerapkan produksi bersih dalam proses pengoperasian suatu unit pengolah air limbah itu sendiri. Sehingga seperti dalam pengoperasian WWTP #48 kitapun dapat menerapkan produksi bersih dalam proses pengoperasiannya. Perlu digaris bawahi, dengan menerapkan produksi bersih, artinya kita berpartisipasi dalam mendukung tercapainya pembangunan yang berkelanjutan (*sustainable development*).

Penerapan produksi bersih dalam pengoperasian unit pengolah air limbah diantaranya dapat dilakukan dengan upaya minimasi jumlah buangan air limbah, substitusi pemakaian bahan-bahan yang tidak ramah lingkungan di rumah tangga seperti alkil benzena sulfonat dengan linear alkil benzena sulfonat yang lebih ramah lingkungan, substitusi pemakaian bahan kimia tidak ramah lingkungan dalam proses pengolahan limbah seperti pemakaian koagulan/flokulan yang mengandung logam berat, efisien penggunaan sumber daya (luas lahan, energi, dan air) dalam proses operasi, pemakaian teknologi pengolahan air limbah yang lebih efisien, dan pemanfaatan ulang air hasil pengolahan dari unit pengolah air limbah.

Beban pengolahan yang diterima tiga unit pengolah air limbah WWTP #48 di dibawah kapasitas desain, dimana unit pengolah air limbah hanya menerima beban pengolahan hanya 5 – 15 % saja. Walaupun ketiga unit tersebut bekerja dibawah kapasitas desain namun semuanya dioperasikan bersama -sama secara paralel. Dengan cara tersebut sistem pengoperasian WWTP #48 dapat dikatakan tidak ekonomis. Secara matematis, dengan pengoperasian sebagian unit pengolah air limbah secara optimal sudah cukup untuk mengolah seluruh air limbah yang dihasilkan.

Dapat diketahui bersama bahwa pengoperasian unit pengolah limbah memerlukan biaya yang tidak sedikit, dalam pengoperasian unit pengolah air limbah diperlukan biaya-biaya yang meliputi biaya perawatan berkala (*preventive maintenance*), biaya perbaikan, pemakaian arus listrik, tenaga operator, dan pemakaian bahan kimia sebagai desinfektan.

Limbah cair seharusnya dianggap sebagai sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan. Dari hasil analisis di laboratorium diketahui bahwa air hasil pengolahan di WWTP #48 masih layak dipakai untuk beberapa jenis pemakaian diantaranya untuk *fire water* dan irigasi, bahkan dengan pengolahan sederhana memakai saringan pasir (*sand filter*) dan adsorpsi dengan karbon aktif dapat digunakan sebagai air umpan boiler.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang terjadi dalam pengoperasian WWTP #48 yang terkait dengan prinsip-prinsip produksi bersih adalah:

1. Inefisiensi pemakaian air; Kebutuhan air bersih untuk perumahan dan perkantoran di kawasan PT Badak NGL relatif besar yaitu rata-rata 700 L/kapita/hari, pemakaian air dalam jumlah yang besar membawa dampak pada peningkatan volume air limbah domestik yang dihasilkan dan yang harus diolah di unit pengolah limbah. Disisi lain belum ada upaya untuk pemanfaatan air *effluent* WWTP #48 yang kualitasnya relatif bagus dan jumlahnya relatif besar yaitu 2275 m³/hari. Seluruh kebutuhan air di PT Badak NGL dipenuhi dari hasil pengeboran air tanah.
2. Inefisiensi pemakaian energi listrik; Pengoperasian WWTP #48 tidak optimal, dimana unit hanya bekerja 5 – 15 % dibawah kapasitas desain, sehingga pemakaian energi listrik yang digunakan sebagai tenaga penggerak motor, pompa dan sistem aerasi di WWTP #48 menjadi tidak efisien.

3. Inefisiensi pemakaian klorin; Proses klorinasi *effluent* WWTP #48 tidak efektif, dimana pemakaian $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ cukup tinggi yaitu 5475 Kg/tahun akan tetapi kandungan klorin dalam *effluent* sering dibawah spesifikasi operasi, frekuensinya 50- 67 %.

Pemakaian air dan energi yang tidak terkendali akan mengancam pelestarian sumber daya alam dalam rangka menuju pembangunan yang berkelanjutan.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian yang dilakukan terhadap unit pengolahan limbah cair domestik WWTP #48 ini bertujuan untuk:

1. Mengidentifikasi faktor-faktor penyebab inefisiensi pemakaian air, energi listrik dan klorin dalam pengoperasian WWTP #48.
2. Mengevaluasi usaha-usaha yang dapat dilakukan untuk peningkatan efisiensi pemakaian air, energi listrik dan klorin dalam pengoperasian WWTP #48.
3. Mengevaluasi besarnya penghematan air, energi listrik dan klorin yang didapat dari penerapan produksi bersih dalam pengoperasian WWTP #48.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat bagi penulis adalah penulis lebih memahami proses dan manfaat penerapan produksi bersih khususnya pada unit pengolah limbah, serta lebih menanamkan kepedulian pada pelestarian sumber daya alam dalam rangka menuju pembangunan yang berkelanjutan.
2. Manfaat bagi ilmu pengetahuan adalah dapat memberikan referensi bagi peneliti yang akan melakukan penelitian lebih lanjut mengenai penerapan produksi bersih pada unit pengolah limbah domestik.
3. Manfaat bagi perusahaan adalah mendukung perusahaan dalam mensukseskan program pengelolaan lingkungan dan peningkatan citra

perusahaan sebagai industri yang ramah lingkungan, serta memberi masukan bagi manajemen perusahaan dalam meningkatkan efisiensi pemakaian air, energi listrik dan klorin dalam pengoperasian WWTP #48.

1.5. Originalitas Penelitian

Penelitian yang pernah dilakukan terhadap WWTP #48 adalah mengenai upaya pemakaian kembali *effluent* WWTP #48 dan evaluasi kinerja WWTP #48. Adapun penelitian mengenai upaya penerapan produksi bersih (*cleaner production*) pada WWTP #48 belum pernah dilakukan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Limbah dan Pencemaran Air

Limbah adalah buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi baik industri maupun domestik (rumah tangga), yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki lingkungan karena tidak memiliki nilai ekonomis. Air limbah adalah gabungan dari cairan dan air yang mengandung limbah yang berasal dari perumahan, perkantoran, dan kawasan industri.

Bila ditinjau secara kimiawi, limbah terdiri dari bahan kimia organik dan anorganik. Dengan konsentrasi dan kuantitas tertentu, kehadiran limbah dapat berdampak negatif terhadap lingkungan terutama bagi kesehatan manusia, sehingga perlu dilakukan penanganan terhadap limbah. Faktor yang mempengaruhi kualitas limbah adalah volume limbah, kandungan bahan pencemar dan frekuensi pembuangan limbah, sedangkan tingkat bahaya keracunan yang ditimbulkan oleh limbah tergantung pada jenis dan karakteristik limbah. Berdasarkan karakteristiknya, limbah industri dapat digolongkan menjadi 4 bagian, yaitu limbah cair, limbah padat, limbah gas dan partikel dan limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun).

Indikasi pencemaran air dapat kita ketahui baik secara visual maupun pengujian. Perubahan yang terjadi pada air yang tercemar adalah:

1. Perubahan pH (tingkat keasaman / konsentrasi ion hidrogen). Air normal yang memenuhi syarat untuk suatu kehidupan memiliki pH netral dengan kisaran nilai 6.5 – 7.5. Air limbah industri yang belum terolah dan memiliki pH diluar nilai pH netral, akan mengubah pH air sungai dan dapat mengganggu kehidupan organisme didalamnya. Hal ini akan semakin parah jika daya dukung lingkungan rendah serta debit air sungai rendah. Limbah dengan pH rendah atau bersifat asam bersifat korosif terhadap logam.

2. Perubahan warna, bau dan rasa. Air bersih tidak berwarna, sehingga tampak bening atau jernih. Bila kondisi air warnanya berubah maka hal tersebut merupakan salah satu indikasi bahwa air telah tercemar. Timbulnya bau pada air lingkungan merupakan indikasi kuat bahwa air telah tercemar. Air yang bau dapat berasal dari limbah industri atau dari hasil degradasi oleh mikroorganisme. Mikroorganisme yang hidup dalam air akan mengubah bahan organik menjadi bahan yang mudah menguap dan berbau sehingga mengubah rasa.
3. Timbulnya endapan, koloid dan bahan terlarut berasal dari adanya limbah industri yang berbentuk padat. Limbah industri yang berbentuk padat, bila tidak larut sempurna akan mengendap didasar sungai, dan yang larut sebagian akan menjadi koloid dan akan menghalangi bahan-bahan organik yang sulit diukur melalui uji BOD karena sulit didegradasi melalui reaksi biokimia, namun dapat diukur menjadi uji COD. Adapun komponen pencemaran air pada umumnya terdiri dari bahan buangan padat, bahan buangan organik dan bahan buangan anorganik (Wardana, 1999),

2.2. Sumber Limbah

Secara garis besar air limbah berasal dari beberapa sumber yaitu :

a. Limbah Cair Industri

Limbah cair industri adalah seluruh limbah cair yang berasal kegiatan industri. Jumlah aliran air limbah yang berasal dari industri sangat bervariasi tergantung dari jenis dan besar kecilnya industri, pengawasan dan proses industri, derajat penggunaan air, dan derajat pengolahan air limbah.

b. Limbah Cair Domestik

Limbah cair domestik adalah sisa air yang telah dipakai untuk kegiatan sanitasi manusia seperti minum, memasak, mandi, mencuci, menyiram

tanaman, dan lain-lain. Kegiatan sanitasi di gedung perkantoran, komersial, dan kegiatan industri turut menyumbangkan air limbah domestik ke dalam sistem penyaluran air buangan.

Air limbah mempunyai komposisi yang sangat bervariasi, tergantung pada sumber asal limbah tersebut. Konstituen yang terkandung dalam air limbah domestik dapat dilihat di tabel 1.1.

Tabel 1.1. Konstituen Dalam Air Limbah Domestik

Fisik	Kimia	Biologi
Padatan Temperatur Warna Bau	Organik Protein Karbohidat Lemak Minyak Detergen Inorganik pH Klorida Alkaliniti Nitrogen Phosphor Logam berat Gas Oksigen H ₂ S Metana	Tumbuhan Binatang Virus

- c. Limpahan air hujan akan bergabung dengan air limbah, dan sebagian air hujan tersebut menguap dan adapula yang merembes ke dalam tanah dan akhirnya menjadi air tanah. Apabila permukaan air tanah bertemu dengan saluran air limbah, maka terjadi penyusupan air tanah ke saluran limbah melalui sambungan-sambungan pipa atau melalui celah-celah yang ada karena rusaknya saluran pipa (Sudrajat, 2004).

2.3. Sifat-Sifat Air Limbah

Menurut Anggraini, 2005, air limbah mempunyai sifat yang dapat dibedakan menjadi tiga bagian yaitu :

2.3.1. Sifat Fisik

Penentuan derajat kekotoran air limbah sangat dipengaruhi oleh adanya sifat fisik yang penting yaitu kandungan zat padat. Jumlah total endapan terdiri dari benda-benda yang mengendap, terlarut, dan tercampur. Air limbah yang partikel dengan ukuran besar memudahkan proses pengendapan, sedangkan apabila air limbah berisikan partikel dengan ukuran yang sangat kecil akan menyulitkan dalam proses pengendapan. Besarnya endapan dinyatakan dalam miligram perliter air limbah. Hal ini sangat penting untuk mengetahui derajat pengendapan dan jumlah endapan yang ada dalam badan air.

Salah satu sifat fisika yang digunakan dalam analisis kualitas air limbah yaitu padatan tersuspensi (*total suspended solid*). Analisa zat padat dalam air sangat penting bagi penentuan komponen-komponen air secara lengkap, dan untuk perencanaan dan pengawasan dalam proses-proses pengolahan air buangan. Padatan tersuspensi didasar badan air akan mengganggu kehidupan didalam badan air, dan akan mengalami dekomposisi yang dapat menurunkan kadar oksigen di dalam air.

Padatan dapat menyebabkan kekeruhan air, menyebabkan penyimpangan sinar matahari, sehingga mengganggu kehidupan didalam badan air, dan akan mengalami dekomposisi yang dapat menurunkan kadar oksigen dalam air, sehingga berpengaruh baik secara langsung atau tidak langsung terhadap organisme di badan air.

2.3.2. Sifat Kimia

Bahan organik terlarut dapat menghabiskan oksigen dalam limbah serta akan menimbulkan rasa dan bau yang tidak enak. Pada umumnya zat organik berisikan kombinasi karbon, hidrogen, dan oksigen bersama-sama dengan nitrogen. Umumnya kandungan bahan

organik berisikan 40-60% protein, 25-50% berupa karbohidrat. Semakin banyak jumlah dan jenis bahan organik, hal ini akan mempersulit dalam pengelolaan air limbah. Beberapa sifat kimia yang digunakan sebagai parameter kualitas air, yaitu :

1. pH

pH adalah parameter untuk mengetahui intensitas tingkat keasaman atau kebasaan dari suatu larutan yang dinyatakan dengan konsentrasi ion hidrogen terlarut. Pada instalasi pengolahan air buangan secara biologi, pH harus dikontrol supaya berada dalam rentang yang cocok untuk organisme tertentu yang digunakan.

Baku mutu pH berkisar pada rentang yang cukup besar di sekitar pH netral, yaitu antara 6.0-9.0. Hal ini bukan berarti bahwa perubahan pH yang terjadi sepanjang rentang tersebut sama sekali tidak berdampak terhadap makhluk hidup dan lingkungan sekitar. pH merupakan faktor penting yang menentukan pola distribusi biota akuatik, karena itu perubahan pH yang kecil dapat memberi dampak besar terhadap toksisitas polutan seperti amonia. Dampak dari sejumlah polutan dapat bervariasi, mulai dari tak terdeteksi sampai sangat serius, tergantung pada pH.

2. *Biological Oxygen Demand (BOD)*

BOD adalah suatu analisis empiris yang mencoba mendekati secara global proses-proses biologis yang benar-benar terjadi didalam air. Angka BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan (mengoksidasi) hampir semua zat organik yang terlarut dan sebagian zat-zat organik yang tersuspensi dalam air.

Penentuan BOD diperlukan untuk menentukan beban pencemaran akibat air buangan penduduk atau industri. Penguraian zat organik adalah peristiwa alamiah, bila suatu badan air dicemari oleh zat organik, bakteri dapat menghabiskan oksigen terlarut dalam air selama proses oksidasi tersebut yang dapat mengakibatkan kematian biota dalam air dan keadaan menjadi *anaerob* dan dapat menimbulkan bau busuk pada air tersebut, semakin besar angka BOD maka menunjukkan bahwa derajat pengotoran limbah adalah semakin besar.

Pemeriksaan BOD didasarkan atas reaksi oksidasi zat organik dan anorganik dengan oksigen didalam air dan proses tersebut berlangsung karena adanya bakteri *aerob*. Sebagai hasil oksidasi akan terbentuk CO₂, air dan amonia.

Mikroorganisme pada awalnya menggunakan bahan organik secara cepat untuk metabolisme serta pembentukan sel akan menyebabkan meningkatkan BOD dalam 1-3 hari. Sesudah bahan organik dicerna, maka kebutuhan akan oksigen akan turun.

Reaksi biologis pada tes BOD dilakukan pada temperatur inkubasi 20⁰ C dan dilakukan selama 5 hari, mengingat bahwa dengan waktu tersebut sebanyak 60-70% kebutuhan terbaik karbon dapat tercapai, hingga mempunyai istilah BOD₅²⁰. Sehingga jumlah zat organik yang ada didalam air diukur melalui jumlah oksigen yang dibutuhkan bakteri untuk mengoksidasi zat organik tersebut, kemudian indikasi kandungan zat organik dapat ditentukan, makin banyak kebutuhan oksigen yang dibutuhkan bakteri untuk menguraikannya, maka semakin tinggi harga BOD.

3. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

COD adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan buangan yang ada didalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui mikrobiologis menjadi CO_2 , H_2O dan senyawa organik, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air.

Jumlah oksigen terhitung jika komposisi zat organik terlarut telah diketahui dan dianggap semua C, H, dan N habis teroksidasi menjadi CO_2 , H_2O , dan NO_3 .

4. *Dissolved Oxygen (DO)*

Semua gas di udara dapat terlarut dalam air namun memiliki kelarutan yang berbeda-beda. Oksigen termasuk gas yang sukar larut dalam air dan hanya dapat larut karena perbedaan tekanan parsial air dan udara, bukan dengan reaksi kimia.

Kelarutan oksigen dalam air juga berbeda-beda terhadap temperatur, berkisar antara 14.6 mg/L ($0\text{ }^\circ\text{C}$, 1 atm) sampai 7 mg/L ($35\text{ }^\circ\text{C}$, 1 atm). Dalam kondisi kritis, jumlah maksimum oksigen yang dapat larut dalam air hanya 8 mg/L. Kelarutan oksigen semakin rendah jika kadar garam dalam air semakin tinggi.

DO adalah faktor yang menentukan apakah perubahan yang terjadi dalam air limbah disebabkan oleh proses *aerob* atau *anaerob*. Organisme *aerob* menggunakan oksigen bebas untuk mengoksidasi senyawa-senyawa organik dan anorganik menghasilkan senyawa akhir yang tidak berbahaya. Organisme

anaerob mereduksi garam-garam anorganik seperti sulfat dan menghasilkan senyawa akhir yang berbahaya.

Karena jumlah organisme *aerob* dan *anaerob* di alam sama-sama banyak, maka sangat penting untuk menjaga supaya tersedia oksigen dalam jumlah yang cukup bagi organisme *aerob* dan kondisi yang tidak cocok bagi organisme *anaerob*. Karena itu pemantauan DO perlu dilakukan terhadap badan air penerima dan dalam proses biologi pengolahan air buangan domestik maupun industri.

5. Phosphat

Semua air permukaan dapat mendukung pertumbuhan organisme akuatik seperti plankton (zooplankton dan fitoplankton), ganggang, dan *cyanobacteria*. Pertumbuhan tanaman dalam air dapat dibatasi oleh beberapa faktor seperti cahaya dan karakteristik fisik air tersebut. Pada banyak kasus, faktor pembatas tersebut adalah ketersediaan nutrisi anorganik terutama fosfat. Semakin banyak nutrisi yang masuk dalam badan air, semakin besar pertumbuhan tanaman, sehingga karakteristik biologi badan air dapat berubah.

Buangan organik dalam air adalah sumber nutrisi yang penting bagi tanaman karena dekomposisi materi organik akan menghasilkan fosfat, nitrat, dan nutrisi lain yang dibutuhkan oleh tanaman.

Buangan domestik banyak mengandung fosfat yang berasal dari bubuk deterjen (air cucian). Akibat perkembangan deterjen sintetis, kandungan fosfor anorganik dalam deterjen berkisar antara 2-3 mg/L dan kandungan fosfor organik berkisar antara

0.5-1 mg/L. Kandungan fosfor anorganik dalam limbah domestik saat ini diperkirakan mencapai 2-3 kali lebih banyak daripada ketika deterjen sintetis belum digunakan secara luas, kecuali jika pemerintah setempat membatasi penggunaan deterjen berbasis fosfat. Buangan hasil pengolahan makanan juga banyak mengandung fosfat dan nitrat. Air larian dari daerah pertanian banyak membawa nutrisi yang berasal dari pupuk buatan. Selain itu urine manusia juga banyak mengandung fosfor sebagai hasil dari metabolisme pemecahan senyawa protein. Jumlah fosfor yang dikeluarkan adalah fungsi dari protein yang masuk. Jumlah rata-rata fosfor yang dikeluarkan oleh orang Amerika adalah 1.5 gram/hari.

Peningkatan pertumbuhan tanaman secara berlebihan dapat merugikan. Konsentrasi oksigen terlarut dalam air (DO) menurun, bukan hanya pada malam hari ketika tanaman tidak berfotosintesa, tapi juga pada siang hari karena pertumbuhan tanaman di permukaan mengurangi penetrasi cahaya matahari dalam air. Selain itu, *algae boom* (pertumbuhan ganggang secara berlebihan) juga menimbulkan pencemaran warna, bau, dan menghasilkan racun yang berbahaya bagi ikan dan invertebrata.

Penentuan fosfat telah menjadi perhatian para ahli lingkungan karena keberadaannya mempengaruhi fenomena-fenomena yang berhubungan dengan bidang yang mereka geluti. Bentuk senyawa anorganik fosfor yang penting adalah fosfat, terutama polifosfat dan fosfat terkondensasi, sedangkan senyawa fosfor yang terikat dengan materi organik biasanya kurang diperhatikan.

Organisme yang digunakan dalam proses pengolahan air buangan secara biologi memerlukan sejumlah tertentu fosfor untuk

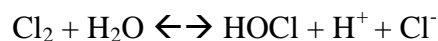
reproduksi dan sintesa sel baru. Namun limbah domestik mengandung fosfor dalam jumlah yang jauh lebih besar dari yang dibutuhkan oleh mikroorganisme tersebut. Hal itu dapat dibuktikan dengan besarnya kandungan fosfat dalam efluen pengolahan biologi air limbah.

6. *Chlorine* Bebas

Chlorine biasa digunakan sebagai desinfektan pada proses pengolahan air, baik air minum maupun air buangan. Klorinasi bertujuan untuk menghilangkan kandungan mikroba patogen dalam air supaya konsumen terhindar dari penyakit bawaan air. Walaupun mikroba patogen dalam air telah banyak tersisihkan selama proses pengolahan sebelumnya, namun masih mungkin tersisa sejumlah mikroba patogen terutama virus. Karena itu biasanya desinfeksi merupakan proses terakhir pengolahan air.

Chlorine digunakan dalam bentuk *chlorine* bebas atau hipoklorit. Selain bereaksi dengan mikroba patogen, *chlorine* juga bereaksi dengan senyawa-senyawa lain dalam air seperti amonia, besi, mangan, sulfida, dan beberapa senyawa organik. Karena itu perlu ditambahkan *chlorine* dalam jumlah berlebih untuk memastikan bahwa masih ada *chlorine* yang tersedia dalam jumlah cukup untuk membunuh mikroba patogen.

Chlorine bereaksi dengan air membentuk hipoklorit dan asam hipoklorit menurut reaksi berikut :



Faktor-faktor yang mempengaruhi proses desinfeksi antara lain adalah jumlah dan jenis mikroba patogen yang ingin dihilangkan, jenis dan konsentrasi desinfektan yang digunakan, temperatur air,

waktu kontak, karakteristik fisik dan kimia air yang akan diolah, pH, dan pencampuran.

Klorinasi dapat dilakukan dengan cara menginjeksikan langsung gas *chlorine* ke dalam air yang akan diolah atau menggunakan garam-garam hipoklorit seperti $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ (kalsium hipoklorit) dan NaOCl (Natrium hipoklorit). NaOCl dikenal secara umum sebagai kaporit dan lebih banyak digunakan. Gas *chlorine* bersifat racun, menyebabkan iritasi pada mata, saluran pernapasan, dan dapat menyebabkan kematian jika dosisnya tinggi. Gas ini lebih larut dalam air yang dingin. Gas dan larutan *chlorine* bersifat sangat korosif, karena itu harus disalurkan melalui pipa plastik.

Pada proses pengolahan air minum, tangki kontak chlorine harus menyediakan sedikitnya 20 menit waktu kontak sebelum air mencapai konsumen pertama. Tangki sebaiknya berbentuk *baffle* untuk mencegah *short circuiting*. Larutan *chlorine* harus ditambahkan melalui *diffuser* di bagian inlet dan sebaiknya dalam kondisi turbulen.

Pembubuhan dapat dilakukan dengan pompa mekanik dan elektrik. Pada negara berkembang, penggunaan *dosing pump* harus dikaji lagi mengingat operasi dan pemeliharaannya yang cukup sulit.

Akhir-akhir ini diketahui bahwa klorinasi dapat menimbulkan beberapa dampak negatif, antara lain terbentuknya senyawa *trihalomethanes* (THMs) yang bersifat karsinogenik akibat reaksi antara *chlorine* dan senyawa organik alami dalam air seperti asam pulvic dan asam humus, serta senyawa-senyawa organik sintetis. *Chlorine* juga memberi rasa dan bau yang keberadaannya tidak

diinginkan secara estetika, karena itu perlu dilakukan pemantauan dosis yang baik supaya klorinasi berjalan aman dan efektif. Penyimpanan dan penanganan *chlorine* juga tidak mudah, terutama di negara tropis dimana larutan *chlorine* mudah menguap akibat temperatur yang tinggi. Jumlah *chlorine* yang dibutuhkan juga cukup banyak karena sebagian terbuang percuma untuk bereaksi dengan amonia dalam air.

Selain klorinasi, terdapat beberapa metode lain untuk desinfeksi, misalnya dengan *Chlorine dioxide* (ClO_2), *chloramine*, radiasi sinar ultra violet (UV), dan ozonisasi. Ozonisasi merupakan cara yang lebih efektif dalam menghilangkan mikroba patogen, namun membutuhkan biaya yang lebih besar dari klorinasi. Negara-negara Eropa banyak menggunakan ozonisasi karena masyarakatnya tidak suka akan rasa dan bau yang kadang ditimbulkan oleh *chlorine*.

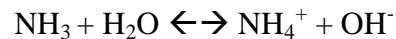
Dosis *chlorine* seharusnya disesuaikan dengan kebutuhan. Pemantauan konsentrasi *chlorine* di ujung bak klorinasi perlu dilakukan secara teratur untuk meninjau efektivitas proses klorinasi. Karakteristik air yang diolah dapat berubah-ubah seiring dengan perubahan musim dan cuaca. Dari hasil pemantauan tersebut dapat diantisipasi sumber-sumber kontaminasi.

7. Amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$)

Amonia (NH_3) terdapat secara alami dalam berbagai konsentrasi pada air tanah, air permukaan, dan air buangan. Amonia dapat berasal dari reduksi senyawa organik yang mengandung nitrogen, deaminasi senyawa amina, hidrolisa urea, dan akibat penggunaannya untuk deklorinasi dalam instalasi pengolahan air.

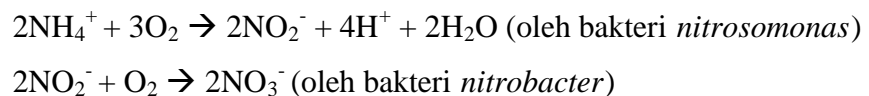
Jumlah amonia dalam air tanah relatif sedikit karena diserap oleh tanah.

Dalam larutan *aqueous* amonia bereaksi membentuk kesetimbangan sebagai berikut :



Amonia bersifat sangat toksik terhadap banyak organisme terutama ikan dan invertebrata, sedangkan amonium (NH_4^+) bersifat kurang toksik. Konsentrasi amonia dalam air tergantung pada pH dan temperatur. Semakin tinggi pH dan temperatur air, semakin tinggi juga konsentrasi amonia. Konsentrasi amonia juga menentukan tingkat toksisitas larutan.

Nitrifikasi adalah proses oksidasi biologi amonia menjadi nitrat oleh bakteri *autotrof*, dengan nitrit sebagai senyawa antara. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



2.3.3. Sifat Biologi

Pemeriksaan air secara biologis sangat penting dan dapat dilakukan terhadap semua jenis air, terutama dilakukan untuk menentukan standar kualitas air. Mengingat bahwa air merupakan sumber kehidupan utama bagi makhluk hidup. Pemeriksaan air secara mikrobiologis baik secara kualitatif maupun secara kuantitatif dapat dipakai sebagai pengukur derajat pencemaran.

Disetiap badan air, baik air alam maupun air buangan terdapat bakteri atau mikroorganisme. Bakteri merupakan kelompok mikroorganisme terpenting dalam sistem penanganan limbah. Bakteri ada yang bersifat patogen sehingga merugikan dan ada yang bersifat non

patogen/menguntungkan. Bakteri patogen bermacam-macam bentuk dan jenisnya sehingga sulit dideteksi. Analisa mikrobiologi untuk bakteri-bakteri tersebut maka diperlukan adanya indikator organisme. Indikator organisme menunjukkan adanya pencemaran oleh tinja manusia dan hewan sehingga mudah dideteksi. Dengan demikian bila indikator organisme tersebut ditemui dalam sampel air, berarti air tersebut tercemar oleh tinja dan kemungkinan besar mengandung bakteri patogen. Analisis menggunakan indikator organisme adalah metode yang paling umum dan dilaksanakan secara rutin.

Indikator organisme yang paling umum digunakan adalah bakteri coliform khususnya *eschericia coli*, karena jumlah bakteri ini sangat banyak dan memiliki ketahanan paling besar terhadap desinfektan, sehingga jika jenis bakteri coliform sudah tidak ada setelah proses desinfeksi, maka diharapkan mikroorganisme lain juga sudah mati.

Bakteri coliform merupakan bakteri berbentuk batang, gram negatif, tidak membentuk spora, *aerob* dan *anaerob* fakultatif yang memfermentasi laktosa dengan menghasilkan asam dan gas dalam waktu 48 jam pada suhu 35⁰ C.

Eschericia coli merupakan bakteri yang normal terdapat dalam usus manusia dan diekresikan dalam jumlah besar bersama kotoran manusia sehat. *Eschericia coli* tidak bersifat patogen, walaupun beberapa jenis coliform bersifat patogen. Coliform hanya dapat bertahan hidup diluar hostnya selama beberapa jam sampai beberapa hari, karena itu kehadirannya dalam badan air mengindikasikan bahwa air tersebut baru saja terkontaminasi dan mungkin mengandung mikroba patogen.

Bagaimanapun efisiensinya, suatu proses pengolahan air buangan, tidak semua mikroba patogen dapat dihilangkan. Karena itu perlu dilakukan pemantauan terhadap konsentrasi mikroba patogen dalam badan air penerima, terutama pada air yang digunakan untuk kegiatan domestik/ rumah tangga. Air tidak boleh mengandung bakteri-bakteri golongan coli melebihi batas-batas yang telah ditentukan yaitu 1 Coli/100 ml air. Hal ini bertujuan untuk keselamatan lingkungan (Wardana, 1999).

2.4. Dampak Negatif Air Limbah

Apabila air limbah tidak dikelola dengan baik akan menimbulkan gangguan, baik terhadap lingkungan maupun terhadap kehidupan yang ada. Gangguan tersebut diantaranya meliputi :

a . Gangguan terhadap kesehatan

Air limbah sangat berbahaya terhadap kesehatan manusia, mengingat air limbah mengandung banyak mikroorganisme, baik yang bersifat patogen maupun nonpatogen. Contoh bakteri patogen yaitu *Virus*, *Vibrio kolera*, *Salmonella typhosa*, *Shigella sp*, *Mikobakterium tuberkulosa*, *Entamoeba histolitica*.

b. Gangguan terhadap kehidupan biotik

Dengan banyaknya zat pencemar yang ada dalam air limbah, maka akan menyebabkan menurunnya kadar oksigen terlarut dalam air. Dengan demikian kehidupan didalam air yang membutuhkan oksigen terganggu. Selain menyebabkan ikan dan bakteri-bakteri dalam air menjadi mati, namun juga dapat menimbulkan kerusakan pada tanaman air.

c. Gangguan terhadap keindahan dan kenyamanan

Selama proses penguraian zat organik dalam air limbah maka menimbulkan bau yang tidak menyenangkan dan warna air limbah menimbulkan gangguan pemandangan.

2.5. Teknik Pengolahan Limbah Cair

Menurut LAPI ITB, 1998, Pengolahan limbah cair terutama ditujukan untuk mengurangi kandungan bahan pencemar di dalam air, seperti senyawa organik, padatan tersuspensi, mikroba patogen dan senyawa organik yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di alam. Proses pengolahan dilakukan sampai batas tertentu sehingga limbah cair tidak mencemarkan lingkungan hidup.

Pengolahan limbah cair dapat dibagi atas lima tahap pengolahan, yaitu:

1. Pengolahan awal (*pretreatment*)
2. Pengolahan tahap pertama (*primary treatment*)
3. Pengolahan tahap kedua (*secondary treatment*)
4. Pengolahan tahap ketiga (*tertiary treatment*)
5. Pengolahan lumpur (*sludge treatment*)

Tahap tersebut dimaksudkan untuk memudahkan dalam mengkategorikan dan melaksanakan pengolahan sesuai dengan beban dan kandungan suatu limbah cair. Dalam bab ini akan dibahas pengolahan awal dan tahap pertama secara singkat dan tahap kedua secara lebih rinci.

2.5.1. Pengolahan Awal dan Tahap Pertama

Tujuan dari pengolahan awal dan tahap pertama adalah untuk meminimalkan variasi konsentrasi dan laju alir dari limbah cair dan juga menghilangkan zat pencemar tertentu. Terhadap beberapa jenis limbah cair perlu diberikan pengolahan awal untuk menghilangkan zat pencemar yang tak terbiodegradasi atau beracun, agar tidak mengganggu proses-proses selanjutnya. Sebagai contoh limbah cair yang akan ditangani secara biologis harus memenuhi kriteria tertentu yaitu: pH antara 6-9; total padatan tersuspensi < 125 mg/L; minyak dan lemak < 15 mg/L; sulfida < 50 mg/L, dan logam-logam berat umumnya < 1 mg/L.

Jenis operasi atau proses yang dapat digolongkan ke dalam pengolahan awal dan tahap pertama, antara lain :

1. Penyaringan (*Screening*): Berfungsi untuk menghilangkan partikel-partikel besar dan limbah cair. Alat ini dipakai pada industri pengalengan, bir, dan kertas. Terdapat berbagai jenis alat penyaringan, misalnya, *bar racks*, *static screens*, dan *vibrating screens*.
2. Ekualisasi: Tujuan dari proses ini adalah untuk mengurangi variasi laju alir dan konsentrasi limbah cair, agar mencegah pembebanan tiba-tiba (*shock load*). Bentuk alat ini umumnya adalah kolam yang dapat dilengkapi dengan pengaduk atau tanpa pengaduk, terkadang pula disertai dengan aerasi untuk mencegah kondisi septik .
3. Netralisasi: Seringkali limbah cair industri bersifat asam atau basa sehingga membutuhkan proses netralisasi sebelum pengolahan lanjut. Jika kemudian dialirkan ke pengolahan biologis, maka pH harus dipertahankan dalam rentang 6,5 - 9,0 untuk menghindari inhibisi. Kadang-kadang pencampuran limbah basa dengan limbah asam dapat dilakukan untuk memperoleh proses netralisasi yang ekonomis. Untuk keperluan ini, dibutuhkan bak netralisasi dengan level cairan konstan yang bertindak sebagai tangki netralisasi. Limbah cair yang bersifat asam dapat dinetralisasi dengan melewati limbah pada unggun batu kapur, setelah ditambahkan kapur padam Ca(OH)_2 , soda kaustik NaOH , atau soda abu Na_2CO_3 . Terdapat dua tipe unggun batu kapur yaitu *upflow* dan *downflow*, namun yang lebih populer adalah tipe *upflow*. Unggun batu kapur tidak dapat digunakan apabila (1) Kandungan sulfat lebih dari 0,6%, CaSO_4 yang terbentuk akan menutupi permukaan batu kapur dan menghambat reaksi netralisasi, (2) Kandungan ion logam Al^{3+} dan

Fe^{3+} , garam hidroksida yang terbentuk juga akan menutupi permukaan batu kapur dan menghambat reaksi netralisasi.

Unggun yang dioperasikan *upflow* lebih populer karena produk reaksi seperti CO_2 akan dapat dengan mudah dipisahkan dibandingkan pada pengoperasian *downflow*. Sebelum memutuskan untuk menerapkan sistem ini, disarankan untuk melakukan kajian dalam skala pilot.

Kapur padam $\text{Ca}(\text{OH})_2$ biasanya tersedia lebih murah dibandingkan senyawa basa lain atau bahkan soda abu Na_2CO_3 , sehingga menjadi bahan yang paling sering digunakan untuk netralisasi limbah cair asam.

Limbah cair basa dinetralkan dengan asam mineral kuat seperti H_2SO_4 , HCl , atau dengan CO_2 . Biasanya jika sumber CO_2 tidak tersedia, netralisasi dilakukan dengan H_2SO_4 , karena harga H_2SO_4 yang lebih murah dibandingkan HCl . Reaksi dengan asam mineral berlangsung cepat, sehingga perlu digunakan tangki berpengaduk yang dilengkapi sensor pH untuk mengendalikan laju pemasukan asam. Netralisasi limbah cair basa menggunakan CO_2 biasanya menggunakan *perforated pipe grid* yang diletakkan di bagian dasar tangki netralisasi, H_2CO_3 yang terbentuk akan bereaksi dengan senyawa-senyawa basa dalam limbah cair. Proses netralisasi dapat diselenggarakan secara ekonomis apabila tersedia gas buang pembakaran (*flue gas*).

4. Sedimentasi awal (*primary sedimentation*): Tujuan sedimentasi awal adalah untuk menghilangkan zat padat yang tersuspensi. Partikel tertentu, seperti padatan limbah kertas, pulp atau domestik, akan menggumpal pada saat partikel tersebut menuju dasar tangki

sedimentasi, sehingga mempengaruhi laju pengendapan . Ini dikenal dengan pengendapan *floculant*. Partikel seperti pasir, abu dan batubara tidak menggumpal, ini dikenal dengan nama pengendapan *discrete*. Terdapat berbagai jenis tangki sedimentasi, tetapi pada umumnya padatan dikeluarkan dari dasar tangki secara mekanis.

2.5.2. Pengolahan Tahap Kedua.

Pengolahan biologis termasuk dalam pengolahan tahap kedua. Tujuannya adalah untuk menghilangkan atau mengurangi kandungan senyawa organik atau anorganik dalam suatu air buangan. Fungsi ini dapat dicapai dengan bantuan aktifitas mikroorganisme gabungan (*mixed culture*) yang heterotrofik. Mikroorganisme mengkonsumsi bahan-bahan organik untuk membentuk biomassa sel baru serta zat-zat organik dan memanfaatkan energi yang dihasilkan dari reaksi oksidasi untuk metabolismenya. Deskripsi secara umum dari proses biologis ini ditunjukkan oleh Gambar 2.1.

Mikroorganisme dalam proses biologis akan sangat tergantung pada zat yang terdapat dalam air buangan, apabila zat organik yang tersedia kurang maka mikroorganisme akan menopang hidupnya dengan mengkonsumsi protoplasma. Proses ini disebut respirasi endogen (*endogenous respiration*). Jika kekurangan zat organik ini berlangsung terus, mikroorganisme akan mati kelaparan atau mengkonsumsi seluruh protoplasma hingga yang tersisa adalah residu organik yang relatif stabil.

Proses biologis untuk mengolah air buangan, jika ditinjau dari pemanfaatan oksigennya, dapat dikelompokkan ke dalam empat kelompok utama, yaitu :

- (1) proses aerobik
- (2) proses anaerobik

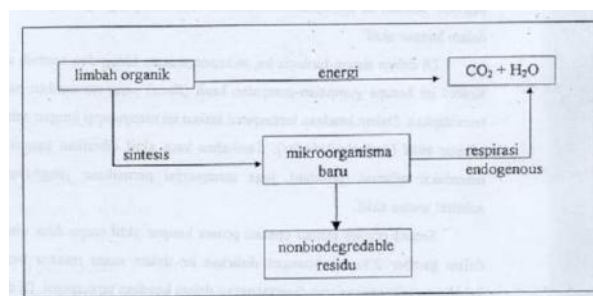
(3) proses anoksid dan

(4) kombinasi antara proses aerobik dengan salah satu proses di atas.

Masing-masing proses ini masih dibedakan lagi bertalian dengan apakah pengolahan dicapai dalam suatu sistem pertumbuhan tersuspensi, sistem pertumbuhan yang menempel pada media *inert* yang diam atau kombinasi keduanya. Disamping itu, proses biologis dapat pula dikelompokkan atas dasar proses operasinya. Ada tiga macam proses yang termasuk dalam cara pengelompokkan ini, yaitu :

1. Proses kontinyu dengan atau tanpa daur ulang.
2. Proses *batch*.
3. Proses semi *batch*.

Proses kontinyu biasa digunakan untuk pengolahan aerobik limbah cair domestik dan industri, sedangkan proses *batch* atau semi *batch* lebih banyak digunakan untuk sistem anaerobik.



Gambar 2.1. Oksidasi Biologis Sempurna dari Buangan Organik

2.5.3. Lumpur Aktif

Sistem lumpur aktif termasuk salah satu jenis pengolahan biologis dimana mikroorganismenya berada dalam pertumbuhan tersuspensi. Prosesnya bersifat aerobik, artinya memerlukan oksigen untuk reaksi biologisnya. Kebutuhan oksigen dapat dipenuhi dengan cara mengalirkan udara atau oksigen murni ke dalam reaktor biologis, sehingga cairan reaktor (*mixed liquor*) dapat melarutkan oksigen lebih

besar dari 2,0 mg/liter. Jumlah ini merupakan kebutuhan minimum yang diperlukan oleh mikroba di dalam lumpur aktif.

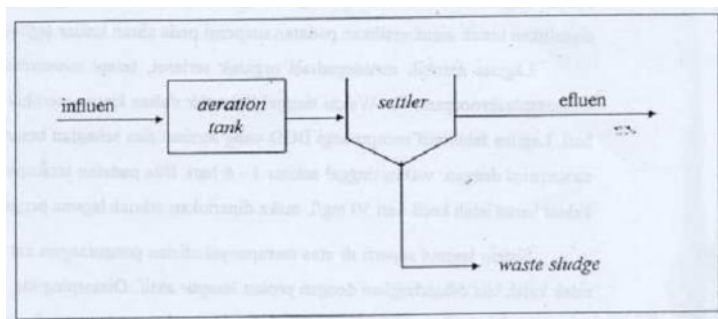
Di dalam sistem biologis ini, mikroorganisme hidup dan tumbuh secara koloni. Koloni ini berupa gumpalan-gumpalan kecil (*flocs*) yang merupakan padatan mudah terendapkan. Dalam keadaan tersuspensi, koloni ini menyerupai lumpur sehingga disebut lumpur aktif (*activated sludge*). Tambahan kata aktif diberikan karena selain dapat mereduksi substrat (polutan), juga mempunyai permukaan yang dapat menyerap substrat secara aktif.

Secara prinsip satuan operasi proses lumpur aktif tanpa daur ulang dapat dilihat dalam gambar 2.2. Air buangan dialirkan ke dalam suatu reaktor biologis dimana kehidupan mikroorganisme dipertahankan dalam keadaan tersuspensi. Di dalam reaktor, konsentrasi zat organik akan berkurang karena adanya aktifitas mikroorganisme. Kondisi aerobik dicapai dengan aerasi yang juga berfungsi untuk menjaga kandungan reaktor senantiasa tersuspensi dengan baik. Secara kontinyu keluaran dari reaktor (*overflow*) dialirkan ke tangki pengendap, untuk memisahkan fraksi padat dan cair. Pemisahan fraksi padat ini dapat dilakukan secara gravitasi, karena berat jenis padatan lebih besar dari pada air.

Banyak modifikasi telah dilakukan terhadap sistem lumpur aktif, tetapi secara keseluruhan sistem pengolahan dengan lumpur aktif dapat dicirikan dengan tanda-tanda sebagai berikut:

1. Menggunakan lumpur mikroorganisme yang dapat mengkonversi zat organik terlarut dalam air buangan menjadi biomassa baru dan zat anorganik.

2. Pengolahan dengan lumpur aktif memungkinkan terjadinya pengendapan sehingga keluaran hanya sedikit mengandung padatan mikroba.
3. Pengolahan dengan lumpur aktif mendaur ulang sebagian lumpur mikroorganisme dan tangki pengendap ke reaktor aerasi, kecuali pada reaktor aliran yang teraduk (*continuous stirred tank*), kadang-kadang mikroorganisme tidak perlu di daur ulang.
4. Kinerja pengolahan dengan lumpur aktif bergantung pada waktu tinggal sel rata di dalam reaktor (*mean cell residence time*). (LAPI 1998).



Gambar 2.2. Proses Pengolahan Biologis Kontinyu Tanpa Daur Ulang

Sistem pengolahan dengan menggunakan lumpur aktif mempunyai beberapa macam modifikasi proses.

Syarat proses lumpur aktif adalah:

1. Adanya resirkulasi lumpur dari bak pengendap menuju reaktor untuk mempertahankan tingkat konsentrasi biomassa yang diinginkan.
2. Terciptanya keadaan pencampuran sempurna untuk menghasilkan karakteristik air buangan yang uniform pada setiap tempat di reaktor.

Beberapa parameter penting dalam proses lumpur aktif adalah:

1. Konsentrasi lumpur

Konsentrasi lumpur secara kasar dapat disebut sebagai konsentrasi padatan tersuspensi (*suspended solid*). Didalam tangki aerasi konsentrasi lumpur ini dapat disebut *mixed liquor suspended solid* (MLSS). Zat padat tersuspensi dapat berupa senyawa anorganik, yang mengandung materi tervolatisasi (*Volatile Suspended Solid*) sebagai indikasi konsentrasi mikroorganisme. Konsentrasi lumpur kemudian disebut sebagai *Mixed Liquor Volatile Suspended Solid* (MLVSS).

2. Umur lumpur

Umur lumpur dapat didefinisikan sebagai lamanya lumpur (biomassa) berada dalam sistem. Pengaturan besarnya umur lumpur dapat dilakukan dengan cara mengatur laju pembuangan lumpur dari dalam reaktor. Pembuangan lumpur dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu (1). Sesudah diendapkan dalam bak pengendap, (2). Langsung dari reaktor. Untuk menghasilkan efisiensi pengolahan yang stabil, umumnya umur lumpur ini berkisar 5 – 15 hari.

3. Resirkulasi lumpur

Resirkulasi adalah bagian tertentu dari proses aliran yang berasal dari suatu titik dalam proses, dipisahkan dan dimasukkan dalam suatu titik yang terletak sebelumnya dalam proses yang sama. Tujuan diterapkan resirkulasi lumpur kedalam reaktor ada lah untuk (1). Untuk menyeragamkan isi reaktor, (2). Untuk meningkatkan konsentrasi biomassa

Besarnya faktor resirkulasi akan mempengaruhi kondisi suatu zat padat yang terendapkan dalam bak pengendap. Jika faktor resirkulasi terlalu kecil, dapat menyebabkan kondisi dalam bak pengendap menjadi anaerobik, karena lumpur tertimbun didalam bak pengendap. Hal ini dapat menimbulkan pengapungan lumpur

(bulking sludge), sehingga *effluent*-nya menurun. Jika faktor resirkulasi terlalu besar, dapat menyebabkan tidak se mpurnanya metabolisme pada reaktor.

4. Tingkat pembebanan

F/M merupakan kriteria desain untuk beban organik dan didefinisikan sebagai beban substrat yang dipakai pada proses per satuan biomassa dalam reaktor per satuan waktu.

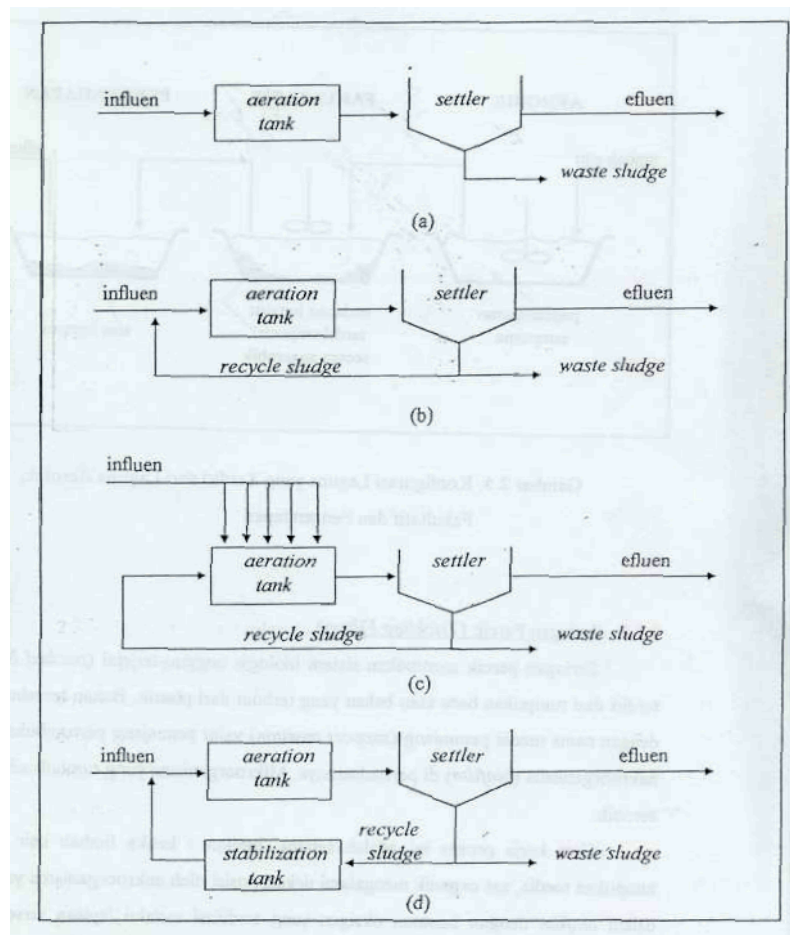
5. Waktu tinggal

Waktu tinggal merupakan waktu rata – rata yang digunakan oleh cairan dalam tangki aerasi dan merupakan waktu kontak antara mikroorganisme dengan buangan. Di dalam sistem kontinyu, waktu tinggal ini didefinisikan sebagai volume reaktor di bagi debit aliran masuk air buangan (V/Q).

Apabila waktu detensi lebih besar dari V/Q maka dalam reaktor akan terjadi arus singkat. Sedangkan waktu detensi yang kecil daripada V/Q akan mengakibatkan terdapatnya zona mati sehingga volume reaktor lebih kecil. Reaktor yang dioperasikan dengan resirkulasi dapat menghasilkan waktu detensi yang lebih pendek.

6. Oksigen terlarut

Untuk memelihara kondisi *aerob* pada bagian inti flok dibutuhkan konsentrasi oksigen terlarut sekitar 4–6 mg/L. Sedangkan untuk proses lumpur aktif konsentrasi oksigen terlarut minimal 2 mg/L. Jika jumlah oksigen tidak memenuhi kriteria, kualitas lumpur aktif akan menurun dan mengakibatkan lumpur yang mengambang di bak pengendap (Metcalf & Eddy, 1991).



Gambar 2.3. Beberapa Sistem Pengolahan Dengan Lumpur Aktif
 a. Daur ulang. b. Konvensional. c. Aerasi bertahap. D. Kontak stabilisasi

2.5.4. Laguna Teraerasi (*Aerated lagoons*)

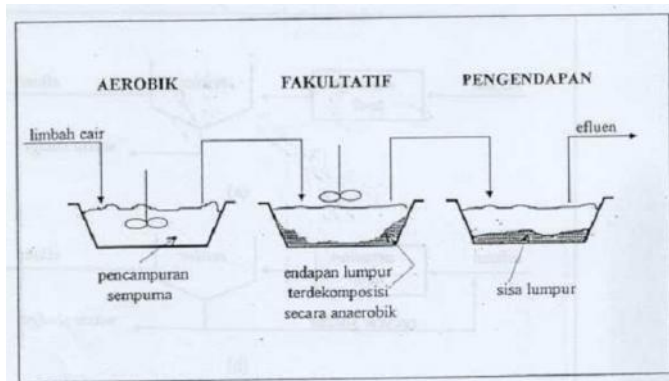
Laguna teraerasi biasanya berbentuk kolam dengan kedalaman antara 2,5 hingga 5 m dan luas hingga beberapa hektar. Penambahan oksigen ke dalam laguna dilakukan dengan pengadukan atau difusi udara. Dalam laguna aerobik, oksigen terlarut dan padatan tersuspensi teraduk dengan baik, dari mikroorganisme yang berkembang termasuk mikroorganisme aerobik. Kebutuhan energi untuk laguna aerobik berkisar antara 14 -20 hp/sejuta gallon.

Bagi laguna fakultatif (*facultative lagoons*) hanya bagian permukaannya saja yang diaduk, dan sebagian dari padatan akan mengendap di dasar kolam. Padatan tersebut akan terdekomposisi oleh mikroorganisme anaerobik, sedangkan produk dari proses ini akan dioksidasi oleh organisme yang tumbuh di atasnya. Kebutuhan energi untuk laguna fakultatif relative lebih rendah di banding dengan laguna aerobik yaitu antara 4 - 10 hp/sejuta gallon.

Gambar 2.4 memperlihatkan suatu konfigurasi yang optimal bagi laguna, yaitu sebuah laguna aerobik disusul dengan laguna fakultatif dan laguna pengendap bila diperlukan untuk membersihkan padatan suspensi pada aliran keluar (*effluent*).

Laguna aerobik mendegradasi organik terlarut tetapi menambah konsentrasi biomassa/mikroorganisme. Waktu tinggal hidraulik dalam laguna aerobik sekitar 1 - 3 hari. Laguna fakultatif mengurangi BOD yang tersisa dan sebagian besar dari padatan tersuspensi dengan waktu tinggal sekitar 3-6 hari. Bila padatan tersuspensi dari aliran keluar harus lebih kecil dari 50 mg/L, maka diperlukan sebuah laguna pengendapan.

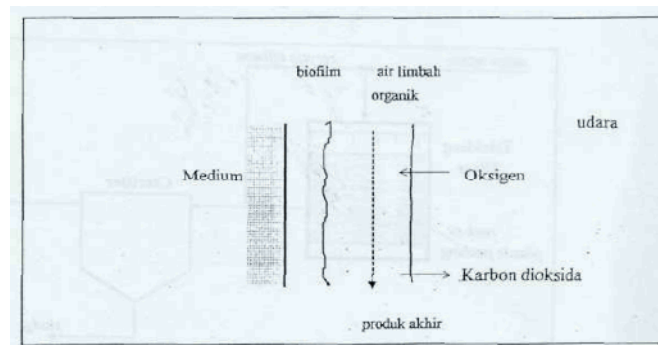
Sistem laguna seperti di atas mempunyai efisiensi pengurangan zat organik yang tidak kalah bila dibandingkan dengan proses lumpur aktif. Disamping itu, sistem laguna mempunyai kelebihan yaitu tidak diperlukan pengeluaran lumpur dari sistem, tetapi kelemahan yang nyata adalah memerlukan tanah yang relative luas.



Gambar 2.4. Konfigurasi Laguna yang Terdiri dari Laguna Aerobik, Fakultatif dan Pengendapan

2.5.5. Saringan Percik (*Trickling Filters*)

Saringan percik merupakan sistem biologis unggun-terjejal (*packed bed*) yang terdiri dari tumpukan batu atau bahan yang terbuat dari plastik. Bahan tersebut dikenal dengan nama media penunjang (*support medium*) yaitu penunjang pertumbuhan lapisan mikroorganisme (*biofilm*) di permukaan. Mikroorganisme yang tumbuh jenis *aerobik*.

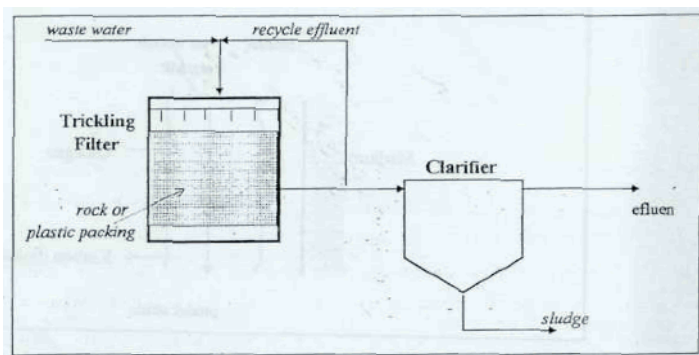


Gambar 2.5. Skema Proses Didalam Suatu Saringan Percik

Cara kerja proses ini adalah ketika limbah cair melewati tumpukan media, zat organik mengalami dekomposisi oleh mikroorganisme yang hidup dalam biofilm dengan bantuan oksigen yang terdifusi melalui lapisan tersebut. Gas karbon dioksida yang terbentuk kemudian dilepaskan keluar lapisan, ilustrasi sederhana dari proses tersebut diperlihatkan pada gambar 2.5.

Tinggi unggun yang banyak digunakan bergantung pada jenis media; untuk media batu, tinggi yang umum adalah 1 hingga 3 m, dengan ukuran media antara 6-10 cm. Penggunaan media batu mulai ditinggalkan dan diganti dengan bahan yang terbuat dari plastik, karena media plastik dapat ditumpukkan hingga ketinggian 13 m dan dapat beroperasi dengan laju 4 gal/f².menit. Hal ini disebabkan turun-tekan (*pressure drop*) dari bahan plastik lebih rendah dibandingkan dengan media batu.

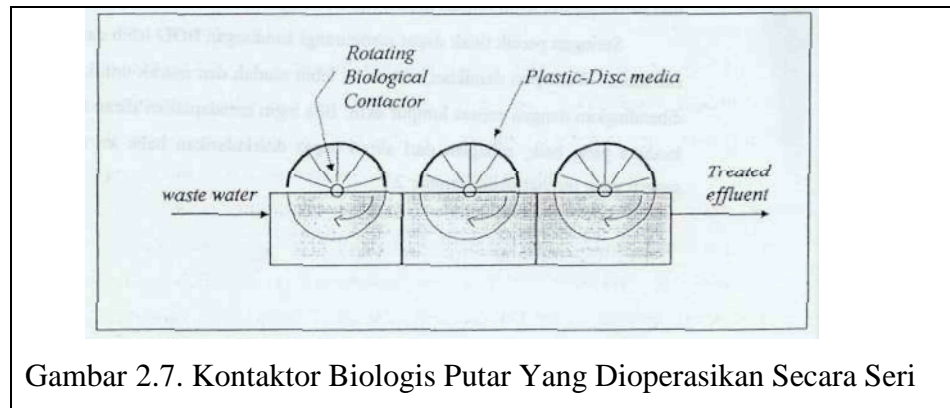
Saringan percik tidak dapat mengurangi kandungan BOD lebih dari 85% secara ekonomis. Walaupun demikian, sistem ini lebih mudah dan murah untuk dioperasikan dibandingkan dengan proses lumpur aktif. Bila ingin mendapatkan aliran keluar dengan kualitas yang baik, sebagian aliran dapat disirkulasikan balik ke dalam sistem, seperti yang terlihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Sistem Aliran Percik

2.5.6. Kontaktor Biologis Putar (*Rotary Biological Contactors*)

Kontaktor Biologis Putar atau dikenal dengan nama RBC terdiri dari sejumlah piringan (*discs*) yang dipasang pada poros yang berputar, seperti disajikan pada gambar 2.7. Sekitar 40% dari volumenya terendam dalam tangki yang berisi limbah cair.



Gambar 2.7. Kontaktor Biologis Putar Yang Dioperasikan Secara Seri

Piringan adalah tempat bertumbuhnya lapisan mikroorganisme (*biofilm*) dengan ketebalan lapisan antara 1 hingga 4 mm.

Proses yang terjadi pada sistem ini adalah sebagai berikut: ketika piringan berputar dan keluar dari limbah cair, piringan membawa sejumlah limbah cair untuk berkontak dengan udara, sehingga mikroorganisme dapat mengoksidasi zat organik yang terlarut. Ketika piringan kembali tercelup dalam air, gaya gesekan mengeluarkan kelebihan biomassa yang kemudian akan ditampung pada tangki pengendap di hilir aliran. Piringan-piringan yang dipakai umumnya terbuat dari polietilen densitas tinggi (*high density polyethylene*) dengan luas permukaan sekitar $37 \text{ ft}^2/\text{ft}^3$. Suatu unit kontaktor biologis putar dapat berukuran hingga diameter 4 m dan panjang 8 m dengan luas permukaan 10.000 m^2 dengan jumlah piringan mencapai ratusan. Suatu sistem kontaktor biologis biasanya terdiri dari 2-4 unit yang dipasang seri.

Pengurangan BOD akan lebih baik bila dilaksanakan secara bertahap. Kelebihan utama dari sistem ini dibandingkan dengan proses lumpur aktif adalah energi yang diperlukan relatif rendah, sehingga ongkos operasinya pun lebih murah.

2.5.7. PACT (*Powdered Activated Carbon Treatment*)

Perlakuan lanjut terhadap keluaran (*effluent*) proses lumpur aktif seringkali diperlukan, apabila mutu keluaran tidak memenuhi baku mutu yang berlaku. Hal ini umumnya terjadi bila: (1). Fraksi senyawa organik yang tak-terbiodegradasi dalam umpan cukup besar, (2). Terjadi gangguan proses, misalnya laju alir/konsentrasi umpan seringkali berfluktuasi dengan beda yang cukup besar; dan (3). Masih ada komponen-komponen yang berbahaya bagi kehidupan akuatik yang belum dapat disisihkan oleh proses lumpur aktif misalnya amonia dan ion-ion logam.

Salah satu gagasan untuk memperbaiki proses lumpur aktif adalah menambahkan karbon aktif bubuk (*powdered activated carbon*, PAC) langsung ke lumpur aktif, atau dikenal dengan sebagai PACT (*Powdered activated carbon treatment*). Biaya operasi penambahan langsung ini lebih murah dari pada biaya kapital (*capital cost*) atau biaya operasi yang dibutuhkan untuk perlakuan lanjut.

Meskipun penambahan karbon aktif ke lumpur aktif diketahui dapat memperbaiki unjuk kerja proses lumpur aktif, tetapi mekanisme kerjanya baru terungkap pada tahun 1984 oleh Schultz dan Keinath. Mereka menyimpulkan bahwa mekanisme perbaikan karbon aktif pada proses lumpur aktif dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Aktivitas biologis mikroorganisme ditingkatkan oleh karbon aktif (*enhanced bioactivity 'stimulation of biological activity'*),
2. Bioregenerasi.
3. Adsorpsi produk metabolit (*metabolite products.*)

Mekanisme pertama, yaitu kemampuan karbon aktif untuk meningkatkan aktivitas mikroba disebabkan oleh (a). Naiknya konsentrasi senyawa organik pada permukaan karbon aktif, (b). Waktu

kontak yang lebih panjang antara mikroba dengan senyawa organik yang teradsorpsi, (c). naiknya konsentrasi oksigen pada permukaan karbon aktif; (d) adsorpsi senyawa-senyawa toksik, (e). pergeseran populasi (*population shift*) mikroorganisme karena bakteri-bukan-pembentuk-flok teradsorpsi.

Mekanisme bioregenerasi adalah proses biodegradasi senyawa organik yang teradsorpsi, sehingga permukaan karbon aktif dapat digunakan kembali untuk adsorpsi senyawa organik yang teradsorpsi disisihkan dengan desorpsi, asimilasi mikroba langsung pada permukaan, atau reaksi enzim.

Mekanisme yang ketiga yaitu mekanisme adsorpsi produk metabolit dapat menjelaskan mengapa penyisihan senyawa organik yang lebih baik diperoleh dengan penambahan karbon aktif. Hal ini disebabkan produk-produk metabolit yang merupakan zat organik diadsorpsi oleh karbon aktif, sehingga kandungan organik di fasa cair menurun dengan nyata.

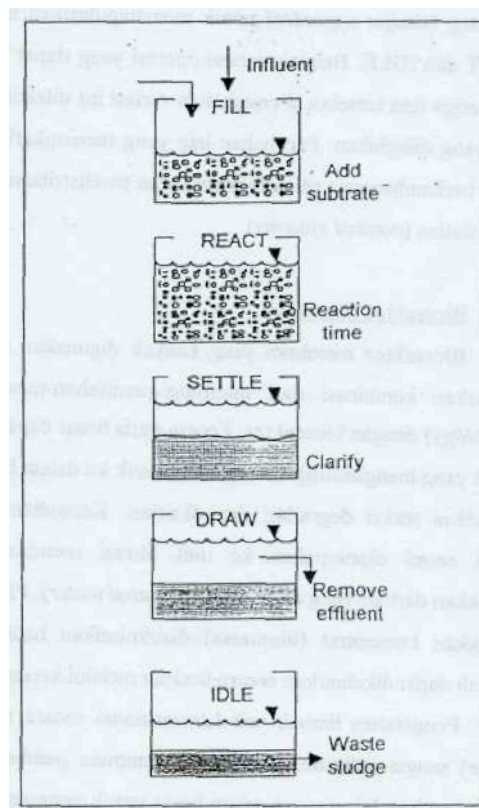
Pada saat ini, penggunaan PACT lebih banyak diterapkan untuk meningkatkan kemampuan sistem lumpur aktif yang telah berjalan. Penggunaan terutama pada industri kimia, petrokimia dan penyulingan minyak (*refineries*). Hal yang perlu diperhatikan dalam sistem ini adalah penanganan terhadap sisa karbon (*spent carbon*) yang perlu dibuang secara berkala dari tangki aerasi.

2.5.8. SBR (*Sequencing Batch Reactor*)

Proses yang terjadi pada SBR tidak berbeda dengan proses pada sistem lumpur aktif, perbedaannya terletak pada pengoperasiannya. Pada SBR, operasi degradasi aerobik dan pemisahan mikroba terjadi pada

unit/tangki yang sama. Pada unit lumpur aktif, proses degradasi dan pemisahan mikroba dilakukan pada unit terpisah.

Pada SBR terdapat 5 (lima) langkah operasi yang berurutan yaitu: (1). Pengisian limbah cair (*fill*); (2). Aerasi (biodegradasi), terjadinya reaksi biologis untuk memecah zat pencemar; (3). Pengendapan (sedimentasi), untuk memisahkan mikroba; pengolahan limbah konvensional tidak memungkinkan. Dalam kasus-kasus seperti ini bioreaktor membran akan merupakan alternatif teknologi.



Gambar. 2.8. Skema Pengoperasian *Sequencing Batch Reactor*

Bioreaktor membran merupakan sistem pengolahan limbah yang kompak dengan kualitas keluaran yang sangat baik dan terjaga. Dengan demikian, sistem ini sangat dapat diandalkan dan akan menjadi teknologi harapan di masa mendatang.

Beberapa hal pokok yang membedakan bioreaktor membran dengan teknologi aerobik konvensional yaitu:

- Konsentrasi-biomassa tinggi: Konsentrasi biomassa dapat mencapai 35 kg/m^3 . Hal ini akan mempercepat degradasi zat pencemar. Ukuran tangki aerasi bisa menjadi relatif kecil dibandingkan dengan teknologi konvensional.
- Produksi panas persatuan volum reaktor meningkat: Akibat tingginya aktivitas mikroba, maka panas yang dilepaskan persatuan reaktor meningkat. Reaktor dapat bekerja pada temperatur $35\text{-}40 \text{ }^\circ\text{C}$ yang seringkali merupakan temperatur optimum bagi proses biologis,
- Konsumsi oksigen: Dengan konsentrasi biomassa yang tinggi maka kebutuhan oksigen persatuan waktu akan meningkat pula. Untuk mencapai keadaan ini diperlukan sistem pemasok oksigen yang baik agar reaktor bisa tetap kompak.
- Kualitas keluaran sangat baik: ini bisa dipahami, karena keluaran harus melalui membran terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Hal ini memperbesar peluang penggunaan kembali keluaran tersebut.
- Produksi biomassa rendah: Produksi biomassa pada bioreaktor membran relatif rendah dibandingkan dengan sistem konvensional, akibat temperatur yang tinggi dan pembebanan (FM) yang rendah.

Penerapan bioreaktor membran dalam skala nyata telah dipakai untuk mengolah *landfill leachate*, limbah dari industri kimia, industri kulit dan kertas/pulp. Penerapan bioreaktor membran saat ini masih agak terbatas akibat diperlukannya energi yang tinggi untuk mempertahankan supaya kecepatan alir-silang dan permeabilitas membran tetap tinggi. Hal tersebut menimbulkan biaya yang cukup tinggi untuk pemisahan dengan membran.

Dengan menggunakan membran *hollow-fibre* dan teknik-teknik tertentu, kebutuhan energi dapat diturunkan secara nyata, disamping itu pengendalian terhadap pemisahan membran dapat diatasi. Hal lain yang perlu dicatat adalah harga membran cenderung menurun secara nyata dalam sepuluh tahun terakhir ini.

Hingga saat ini, bioreaktor membran digunakan dalam skala nyata untuk mengolah limbah cair yang relatif pekat, karena biaya pemisahan dengan membran masih relatif mahal. Pengembangan teknologi membran dengan energi rendah dan biaya membran yang cenderung makin murah menciptakan kemungkinan penggunaan bioreaktor membran menjadi lebih luas. Teknologi ini membuka peluang penggunaan kembali air limbah, baik limbah industri maupun domestik, pengurangan lumpur yang terbentuk dan luas lahan yang relatif kecil, Metcalf & Eddy, 1991.

2.6. Perkembangan Teknologi Pengolahan Limbah Cair

Tinjauan terhadap teknologi pengolahan limbah pada abad XXI merupakan hal yang sulit dilakukan, karena banyak hal yang terjadi dengan cepat dan tak terduga dalam dekade terakhir ini. Walaupun demikian, pada laporan ini akan dicoba dikaji dan diulas mengenai teknologi masa depan tersebut (LAPI ITB, 1998).

Perkembangan pasar pengolahan limbah cair (*wastewater treatment market*) di dunia saat ini mengalami kemajuan yang sangat pesat dibandingkan dengan satu dekade yang lalu. Di satu sisi, hal ini disebabkan oleh perkembangan dari teknologi pengolahan limbah itu sendiri, pada sisi lain ini diakibatkan oleh terjadinya perubahan sikap masyarakat terhadap teknologi pengolahan limbah. Peraturan yang dikeluarkan oleh pihak yang berwenang dan pengendalian (*control*) dari masyarakat makin ketat seiring dengan meningkatnya ekonomi

masyarakat. Berbagai tekanan inilah yang mendorong perkembangan proses pengolahan limbah cair pada masa mendatang.

Menurut Cherymisino, 1987 perubahan-perubahan yang terjadi di dalam masyarakat akan mempengaruhi perkembangan teknologi pengolahan limbah cair. Beberapa hal penting yang perlu dicermati dalam mengantisipasi teknologi pengolahan limbah cair di masa mendatang, yaitu antara lain perubahan karakteristik limbah cair, limbah cair adalah sumber daya (*resource*), berkelanjutan (*sustainability*), unit pengolahan limbah cair merupakan industri, produksi bersih, perancangan produk limbah, kesehatan masyarakat.

Hal-hal tersebut secara ringkas akan dibahas pada bagian berikut.

1. Perubahan karakteristik limbah cair

Karakteristik limbah cair yang dikeluarkan oleh industri maupun masyarakat akan mengalami perubahan dalam masa mendatang, ini disebabkan terjadinya perubahan ekonomi dan kebudayaan dalam masyarakat. Beban BOD perkapita cenderung meningkat dengan meningkatnya GNP. Peraturan dapat mengubah komposisi limbah, misalnya pelarangan penggunaan ABS (alkil benzena sulfonat) dalam deterjen, pelarangan penggunaan fosfat dalam sabun. Keterbatasan sumber air (*water shortage*) akan mengurangi volume limbah cair dan meningkatkan konsentrasi. Faktor-faktor utama yang akan mengubah karakteristik limbah cair adalah budaya, produk baru industrial (LAS), penghematan air, GNP, penggunaan kembali limbah (*reuse*), teknologi penanganan limbah dalam rumah tangga (*garbage grinders*), dan peraturan.

Hal-hal di atas saat ini sedang terjadi dan akan makin meningkat di masa mendatang, sehingga perubahan terhadap karakteristik limbah cair tidak dapat dihindarkan. Perubahan terhadap karakteristik limbah tentu akan

mempengaruhi teknologi pengolahannya. Hal ini yang perlu diantisipasi oleh teknologi pengolahan limbah cair di masa mendatang.

2. Limbah adalah sumber daya alam

Limbah cair seharusnya dianggap sebagai sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan. Beberapa contoh penggunaan limbah cair sebagai sumber daya alam adalah produksi biogas, produksi biopolimer dari limbah cair, penggunaan limbah industri sebagai sumber karbon dalam denitrifikasi, pemanfaatan kembali (*reuse, recovery*) limbah cair untuk pertanian, kegiatan industri dan penggunaan kembali dalam kegiatan rumah-tangga.

3. Berkelanjutan

Penanganan dan pengolahan limbah cair memanfaatkan berbagai sumber daya. Pada masa mendatang perhatian akan lebih terfokuskan pada penggunaan sumber daya tersebut agar sesuai dengan prinsip berkelanjutan, juga perhatian terhadap dampak lingkungan dari sistem pengolahan limbah cair akan makin meningkat.

Pengurangan terhadap luas lahan, energi, dampak terhadap badan air penerima, produksi lumpur (*sludge*), bau (*odors*) dan kontaminasi mikroba akan menjadi hal yang penting dalam pengembangan teknologi limbah cair di masa mendatang. Proses-proses dengan konsumsi sumber daya per kapita yang rendah dan dampak yang rendah pula terhadap lingkungan akan menjadi teknologi pilihan dimasa mendatang.

4. Sistem pengolahan limbah cair adalah industri

Pada saat ini sistem pengolahan limbah cair tidak dianggap sebagai industri (*industrial plant*). Banyak sistem pengolahan limbah cair saat ini akan tidak dapat diterima oleh masyarakat apabila sistem tersebut dianggap industri, yaitu kalau ditinjau dari segi pencemaran yang dikeluarkan dan sumber daya yang digunakannya. Dengan memandang sistem pengolahan

limbah cair sebagai industri akan meningkatkan efisiensi, memberikan perhatian lebih terhadap bahan baku (limbah cair yang akan diolah) dan juga produknya (emisi udara, padat dan cair).

5. Teknologi bersih pada sistem pengolahan limbah

Penggunaan teknologi bersih hingga saat ini, hanya diterapkan pada suatu industri. Sistem pengolahan limbah seharusnya juga menggunakan teknologi bersih. Pemilihan proses untuk pengolahan limbah lebih banyak didasarkan pada biaya-rendah, bukan pada dampak terhadap lingkungan. Hal ini berlawanan dengan apa yang diharapkan oleh masyarakat luas bahwa unit pengolahan limbah adalah membersihkan lingkungan. Ternyata unit pengolahan limbah seringkali menjadi sumber pencemaran. Pencemaran tersebut melalui udara yang berasal dari gas yang dilepaskan, produksi lumpur dan limbah cair. Bahan kimia yang digunakan seringkali merupakan sumber pencemaran yang berarti. Sebagai contoh kandungan logam berat pada koagulan/flokulan yang digunakan untuk presipitasi senyawa fosfor. Penggunaan teknologi bersih dalam sistem pengolahan limbah cair di masa mendatang akan merupakan keharusan.

6. Perancangan produk limbah

Gas, padatan dan cairan yang dikeluarkan oleh sistem pengolahan limbah cair haruslah dipandang sebagai produk. Produk produk tersebut harus memiliki komposisi yang optimum dalam hubungannya dengan penanganan lebih lanjut. Optimum bukan hanya dikaitkan dengan proses di pengolahan limbah atau dalam bentuk jumlah. Sebagai contoh, koagulan untuk penyisihan fosfat dapat digunakan aluminium sulfat atau besi sulfat. Dalam jumlah lumpur yang diproduksi, penggunaan aluminium akan mengurangi jumlah lumpur yang terbentuk. Tetapi apabila lumpur akan digunakan dalam pertanian, maka koagulan besi akan lebih optimum, karena tumbuhan lebih membutuhkan besi fosfat.

7. Kesehatan masyarakat

Penanganan dan pengolahan limbah cair awalnya adalah untuk meningkatkan kesehatan masyarakat. Aspek penting tersebut, saat ini, sebagian telah terlupakan. Pada masa mendatang, aspek kesehatan masyarakat akan menjadi bagian yang makin diperhatikan dalam merancang sistem pengolahan limbah cair. Bagaimana emisi mikroba dari unit pengolahan limbah, apa pengaruhnya terhadap kesehatan. Merupakan salah satu pertanyaan yang perlu menjadi perhatian dikemudian hari. Mikroba dalam bentuk aerosol, dalam lumpur dan dalam limbah cair yang telah diolah akan mendapat perhatian lebih dalam masa mendatang.

Dengan melihat apa yang telah dipaparkan di atas, maka teknologi pengolahan limbah cair yang dapat menjawab tantangan-tantangan di ataslah yang akan berperan di abad XXI. Jadi jelaslah agak sukar menyebutkan secara spesifik teknologi yang akan menjadi andalan di masa mendatang, walaupun demikian setidaknya uraian di atas dapat digunakan sebagai *guidelines* untuk menilai apakah suatu teknologi dapat menjawab tantangan di masa mendatang atau tidak.

2.7. Pemanfaatan Kembali Air Limbah

Menurut Eckenfelder, 1989 perencanaan dan implementasi pemanfaatan kembali air limbah akan selalu mempertimbangkan sistem pengolahan limbah yang diperlukan dan keterpercayaannya untuk memenuhi kriteria yang ditetapkan. Dalam laporan ini akan ditinjau secara singkat pemanfaatan kembali air limbah dengan penekanan pada kualitas air yang diperlukan untuk melindungi lingkungan dan mencegah resiko pada kesehatan masyarakat.

2.7.1. Potensi dan Kendala Dalam Pemanfaatan Kembali Air Limbah

Aspek penting yang ditinjau dalam pemanfaatan kembali air limbah adalah pertimbangan kesehatan. Kemudian perlu dipertimbangkan unit-unit proses yang tepat untuk menekan kemungkinan dampak kesehatan

dari kontaminan yang terbawa dalam air limbah. Kategori pemanfaatan disusun menurut volume yang terbesar diterapkan.

2.7.2. Pertanian dan Irigasi Lansekap

Volume terbesar dalam pemanfaatan kembali air limbah adalah untuk irigasi, baik pertanian maupun irigasi lansekap. Masing-masing penerapan dalam irigasi mempunyai standar kualitas yang berbeda-beda. Pemanfaatan untuk irigasi lansekap dapat dibedakan menjadi dua kategori menurut kemungkinan kunjungan manusia: kawasan terbatas dan kawasan bebas. Termasuk dalam penerapan kawasan bebas adalah taman, danau/kolam buatan, halaman sekolah, sabuk hijau, atau perumahan. Kawasan terbatas meliputi lapangan golf, pemakaman, media jalan bebas hambatan. Standar kualitas kesehatan yang paling ketat adalah untuk irigasi lansekap kawasan bebas.

Penerapan yang cukup populer di negara maju saat ini adalah untuk irigasi lapangan golf. Kebutuhan air yang cukup besar untuk irigasi lapangan golf sementara harga air bersih yang semakin mahal akhirnya membuka peluang bagi pemanfaatan kembali air limbah.

Teknik pengamanan dan pemantauan yang banyak diterapkan untuk pemanfaatan air limbah dalam irigasi adalah (1). Memisahkannya dengan sistem penyimpanan dan distribusi air minum, (2). Pengkodean dengan warna pada sistem perpipaan, (3). Peralatan untuk mencegah *cross connection* dan *backflow*, (4). Menggunakan *tracer* untuk mendeteksi kemungkinan kontaminasi pada sistem air minum, (5). Irigasi pertanian dilakukan pada *off-hours* untuk mengurangi kemungkinan kontak pada manusia

2.7.3. Pemanfaatan Kembali Air Limbah Dalam Industri

Pemanfaatan kembali air limbah di sektor ini adalah untuk penggunaan air yang lebih efisien di pabrik. Dalam industri penggunaan air yang cukup besar adalah untuk air pendingin dan pembangkit kukus. Penggunaan kembali sebagai air pendingin dan air umpan boiler sudah banyak diterapkan di beberapa negara

2.7.4. *Ground Water Recharge*

Program *ground water recharge* harus mulai dipertimbangkan apabila pengambilan air tanah di suatu kawasan terus-menerus meningkat sehingga dikhawatirkan dapat mengganggu neraca air di akuifer kawasan. Apabila pengambilan air tanah tidak diimbangi dengan masukan ke akuifer dalam jumlah yang seimbang (misalnya air hujan dan air sungai) maka kesinambungan penyediaan air tanah akan terancam. Dengan demikian program *groundwater recharge* menjadi salah satu pendekatan dalam program pengelolaan air tanah yang berjangka panjang.

Ground water Recharge dilakukan untuk (1). Mengurangi atau bahkan menjaga level air tanah, (2). Melindungi air tanah di sekitar pantai dari intrusi air laut, (3). Menyimpan air limbah yang telah diolah dan kelebihan air permukaan. Dua metoda umum dalam penerapan *ground water recharge*: (1). *Surface spreading in basin*, (2). *Direct injection into ground water aquifer*.

Beberapa keuntungan dari *ground water recharge* adalah (1). Biaya pengembalian air ke bumi lebih murah dari pada menyimpan air di permukaan, (2). Akuifer telah menyediakan sistem distribusi sendiri dan tidak perlu membangun kanal atau sistem perpipaan. (3). Menghindarkan dari penguapan, masalah bau dan rasa oleh karena pertumbuhan makluk hidup akuatik, (4). Tidak tersedianya lahan untuk

penyimpanan air di permukaan, (5). Keuntungan psikologi dan estetika karena dam yang berperan dalam transisi air limbah menjadi air tanah.

Beberapa hal yang penting dipertimbangkan dalam pelaksanaan *ground water recharge*, yaitu penerapan sistem pengolahan limbah cair yang tepat, kedalaman air tanah, waktu tinggal dalam akuifer, jumlah maksimum air yang di-*recharge*, jarak horisontal antar titik *recharge*, dan prosedur pemantauan.

2.7.5. Pemanfaatan Untuk Air Minum

Pemanfaatan air limbah yang telah diolah sebagai air minum hingga saat ini dilakukan dengan sangat hati-hati, mengingat pertimbangan-pertimbangan kesehatan, *safety*, estetika (penerimaan masyarakat), dan persyaratan pemantauan. Namun demikian beberapa komunitas di negara maju sudah melakukan penelitian dan penerapan penggunaan sebagai air minum.

2.8. Produksi Bersih

Produksi Bersih merupakan tindakan efisiensi pemakaian bahan baku, air dan energi, dan pencegahan pencemaran, dengan sasaran peningkatan produktivitas dan minimisasi timbulan limbah. Istilah Pencegahan Pencemaran seringkali digunakan untuk maksud yang sama dengan istilah Produksi Bersih. Demikian pula halnya dengan *Eco-efficiency* yang menekankan pendekatan bisnis yang memberikan peningkatan efisiensi secara ekonomi dan lingkungan.

Pola pendekatan produksi bersih bersifat preventif atau pencegahan timbulnya pencemar, dengan melihat bagaimana suatu proses produksi dijalankan dan bagaimana daur hidup suatu produk. Pengelolaan pencemaran dimulai dengan melihat sumber timbulan limbah mulai dari bahan baku, proses produksi, produk dan transportasi sampai ke konsumen dan produk menjadi limbah. Pendekatan pengelolaan lingkungan dengan penerapan konsep produksi bersih

melalui peningkatan efisiensi merupakan pola pendekatan yang dapat diterapkan untuk meningkatkan daya saing.

Menurut UNEP, Produksi Bersih adalah strategi pencegahan dampak lingkungan terpadu yang diterapkan secara terus menerus pada proses, produk, jasa untuk meningkatkan efisiensi secara keseluruhan dan mengurangi resiko terhadap manusia maupun lingkungan (UNEP, 1994).

Produksi Bersih, menurut Kementerian Lingkungan Hidup, didefinisikan sebagai : Strategi pengelolaan lingkungan yang bersifat preventif, terpadu dan diterapkan secara terus-menerus pada setiap kegiatan mulai dari hulu ke hilir yang terkait dengan proses produksi, produk dan jasa untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumberdaya alam, mencegah terjadinya pencemaran lingkungan dan mengurangi terbentuknya limbah pada sumbernya sehingga dapat meminimisasi resiko terhadap kesehatan dan keselamatan manusia serta kerusakan lingkungan (KLH,2003).

Dari pengertian mengenai Produksi Bersih maka terdapat kata kunci yang dipakai untuk pengelolaan lingkungan yaitu : pencegahan pencemaran, proses, produk, jasa, peningkatan efisiensi, minimisasi resiko. Dengan demikian maka perlu perubahan sikap, manajemen yang bertanggung-jawab pada lingkungan dan evaluasi teknologi yang dipilih.

Pada proses industri, produksi bersih berarti meningkatkan efisiensi pemakaian bahan baku, energi, mencegah atau mengganti penggunaan bahan-bahan berbahaya dan beracun, mengurangi jumlah dan tingkat racun semua emisi dan limbah sebelum meninggalkan proses.

Pada produk, produksi bersih bertujuan untuk mengurangi dampak lingkungan selama daur hidup produk, mulai dari pengambilan bahan baku sampai ke pembuangan akhir setelah produk tersebut tidak digunakan.

Produksi bersih pada sektor jasa adalah memadukan pertimbangan lingkungan ke dalam perancangan dan layanan jasa.

Penerapan Produksi Bersih sangat luas mulai dari kegiatan pengambilan bahan termasuk pertambangan, proses produksi, pertanian, perikanan, pariwisata, perhubungan, konservasi energi, rumah sakit, rumah makan, perhotelan, sampai pada sistem informasi.

Pola pendekatan produksi bersih dalam melakukan pencegahan dan pengurangan limbah yaitu dengan strategi 1E4R (*Elimination, Reduce, Reuse, Recycle, Recovery/Reclaim*) (UNEP, 1999). Prinsip-prinsip pokok dalam strategi produksi bersih dalam Kebijakan Nasional Produksi Bersih (KLH, 2003) dituangkan dalam 5R (*Re-think, Re-use, Reduction, Recovery and Recycle*).

1. *Elimination* (pencegahan) adalah upaya untuk mencegah timbulan limbah langsung dari sumbernya, mulai dari bahan baku, proses produksi sampai produk.
2. *Re-think* (berpikir ulang), adalah suatu konsep pemikiran yang harus dimiliki pada saat awal kegiatan akan beroperasi, dengan implikasi :
 - Perubahan dalam pola produksi dan konsumsi berlaku baik pada proses maupun produk yang dihasilkan, sehingga harus dipahami betul analisis daur hidup produk
 - Upaya produksi bersih tidak dapat berhasil dilaksanakan tanpa adanya perubahan dalam pola pikir, sikap dan tingkah laku dari semua pihak terkait pemerintah, masyarakat maupun kalangan usaha
3. *Reduce* (pengurangan) adalah upaya untuk menurunkan atau mengurangi timbulan limbah pada sumbernya.
4. *Reuse* (pakai ulang/penggunaan kembali) adalah upaya yang memungkinkan suatu limbah dapat digunakan kembali tanpa perlakuan fisika, kimia atau biologi.

5. *Recycle* (daur ulang) adalah upaya mendaur ulang limbah untuk memanfaatkan limbah dengan memrosesnya kembali ke proses semula melalui perlakuan fisika, kimia dan biologi.
6. *Recovery/ Reclaim* (pungut ulang, ambil ulang) adalah upaya mengambil bahan-bahan yang masih mempunyai nilai ekonomi tinggi dari suatu limbah, kemudian dikembalikan ke dalam proses produksi dengan atau tanpa perlakuan fisika, kimia dan biologi.

Meskipun prinsip produksi bersih dengan strategi 1E4R atau 5R, namun perlu ditekankan bahwa strategi utama perlu ditekankan pada Pencegahan dan Pengurangan (1E1R) atau 2R pertama. Bila strategi 1E1R atau 2R pertama masih menimbulkan pencemar atau limbah, baru kemudian melakukan strategi 3R berikutnya (*reuse, recycle, dan recovery*) sebagai suatu strategi tingkatan pengelolaan limbah.

Tingkatan terakhir dalam pengelolaan lingkungan adalah pengolahan dan pembuangan limbah apabila upaya produksi bersih sudah tidak dapat dilakukan dengan langkah-langkah:

1. *Treatment* (pengolahan) dilakukan apabila seluruh tingkatan produksi bersih telah dikerjakan, sehingga limbah yang masih ditimbulkan perlu untuk dilakukan pengolahan agar buanagn memenuhi baku mutu lingkungan.
2. *Disposal* (pembuangan) limbah bagi limbah yang telah diolah. Beberapa limbah yang termasuk dalam kategori berbahaya dan beracun perlu dilakukan penanganan khusus.

Tingkatan pengelolaan limbah dapat dilakukan berdasarkan konsep produksi bersih dan pengolahan limbah sampai dengan pembuangan. Penekanan dilakukan pada pencegahan atau minimisasi timbulan limbah, dan pengolahan maupun penimbunan merupakan upaya terakhir yang dilakukan bila upaya dengan pendekatan produksi bersih tidak mungkin untuk diterapkan.

2.9. Penerapan Produksi Bersih Di Kawasan Industri

Untuk mengembangkan Kawasan Industri Berwawasan Lingkungan dimulai dari tingkatan perusahaan secara terus menerus dengan cara meningkatkan kinerja lingkungannya. Lima buah skenario dalam mewujudkannya (Research Triangle Institute dalam Fleig (2000), adalah sebagai berikut :

Skenario 1 – Keadaan Awal

Keadaan awal yang menggambarkan industri-industri anggota kawasan dan kegiatan-kegiatan produksinya

Skenario 2 – Pencegahan Pencemaran

Industri-industri di suatu kawasan mengimplementasikan kegiatan Pencegahan Pencemaran secara sendiri-sendiri

Skenario 3 – Pencegahan Pencemaran dan Simbiose Industri

Industri-industri di suatu kawasan mengembangkan hubungan dengan anggota-anggota lainnya di kawasan dan mitra di luar kawasan

Skenario 4 – Penambahan Industri Baru

Hubungan simbiose baru terjalin sebagai hasil adanya anggota baru di kawasan

Skenario 5 - Relokasi dan Layanan Bersama

Mitra di luar kawasan berpindah lokasi masuk ke dalam kawasan. Kawasan Industri Berwawasan Lingkungan menyediakan layanan yang berkaitan dengan lingkungan

Produksi Bersih dapat diterapkan secara bersama-sama dengan melibatkan pihak manajemen kawasan, atau dengan asosiasi industri di suatu kawasan, sehingga penerapan Produksi Bersih di suatu kawasan industri akan memberikan manfaat yang lebih besar dibanding dengan penerapan pada industri yang berlokasi atau berdiri sendiri.

2.10. Penerapan Produksi Bersih Pada Industri

Penerapan Produksi Bersih pada industri secara individual merupakan salah satu langkah dalam mewujudkan Kawasan Industri Berwawasan Lingkungan. Tahapan penerapan meliputi : perencanaan dan organisasi, kajian produksi bersih, penentuan prioritas dan analisis kelayakan, implementasi, monitoring dan evaluasi, dilanjutkan dengan keberlanjutan.

Langkah 1 : Perencanaan dan Organisasi

Pada langkah ini industri menyiapkan perencanaan, visi, misi, dan strategi produksi bersih. Sasaran peluang Produksi Bersih yang dikaitkan dengan bisnis dan adanya komitmen dari manajemen puncak. Pihak industri juga melakukan identifikasi hambatan dan penyelesaiannya, identifikasi sumber daya luar yang menyediakan informasi dan ahli Produksi Bersih. Program yang akan dijalankan dikomunikasikan ke semua karyawan dilanjutkan dengan pembentukan tim yang menangani produksi bersih.

Langkah 2 : Kajian dan Identifikasi Peluang

Melakukan pemetaan proses atau membuat diagram alir proses sebagai alat untuk memahami aliran bahan, energi dan sumber timbulan limbah. Identifikasi peluang produksi bersih didasarkan pada temuan hasil kajian dan tinjauan lapangan berupa kemungkinan peningkatan efisiensi dan produktivitas, pencegahan dan pengurangan timbulan limbah langsung dari sumbernya. Akar permasalahan yang menyebabkan tidak efisien dan adanya timbulan limbah dicari penyebabnya sehingga dapat memilih tindakan dan teknik untuk memecahkan masalah dengan mengembangkan kreativitas untuk menghasilkan ide sebanyak mungkin.

Langkah 3 : Analisis Kelayakan dan Penentuan Prioritas

Menentukan pilihan Produksi Bersih, berdasarkan keuntungan (biaya yang dikeluarkan dan pendapatan / penghematan yang diperoleh), resiko yang

dihadapi, tingkat komitmen. Melakukan analisis kelayakan lingkungan, teknologi, dan ekonomi. Analisis kelayakan ekonomi dilakukan secara rinci bagi peluang yang memerlukan investasi besar. Agar industri tertarik untuk mengimplementasikan Produksi Bersih, dicari peluang berdasarkan urutan kebutuhan biaya yaitu tanpa biaya (*no cost*), biaya rendah (*low cost*) dan biaya tinggi (*high cost*)

Langkah 4 : Implementasi

Membuat perencanaan waktu pelaksanaan secara konket dan rencana tindakan yang dilakukan. Menentukan penanggung jawab program pelaksanaan dan mengalokasikan sumberdaya yang diperlukan. Selanjutnya melaksanakan program dan menekankan pada para karyawan bahwa Produksi Bersih sebagai bagian dari pekerjaan, mendorong inisiatif dari mereka sebagai umpan balik pelaksanaan. Agar implemetasi dapat dipantau kemajuannnya maka perlu dikembangkan indikator kinerja efisiensi, lingkungan, dan kesehatan dan keselamatan kerja.

Langkah 5 : Pemantauan, Umpan Balik, Modifikasi

Mengumpulkan dan membandingkan data sebelum dan sesudah tindakan Produksi Bersih digunakan untuk mengukur kinerja yang telah dicapai, apakah sesuai dengan rancangan ataukah tidak. Kelemahan pencatatan data yang kurang seringkali menghambat pengukuran kinerja, sehingga pelaporan peningkatan efisiensi dan penurunan timbulan limbah tidak dapat dihitung dengan tepat. Pada saat pemantauan dilakukan pendokumentasian program. Melakukan tinjauan ulang secara periodik pelaksanaan Produksi Bersih, dan kaitkan dengan sasaran bisnis.

Langkah 6 : Perbaikan Berkelanjutan

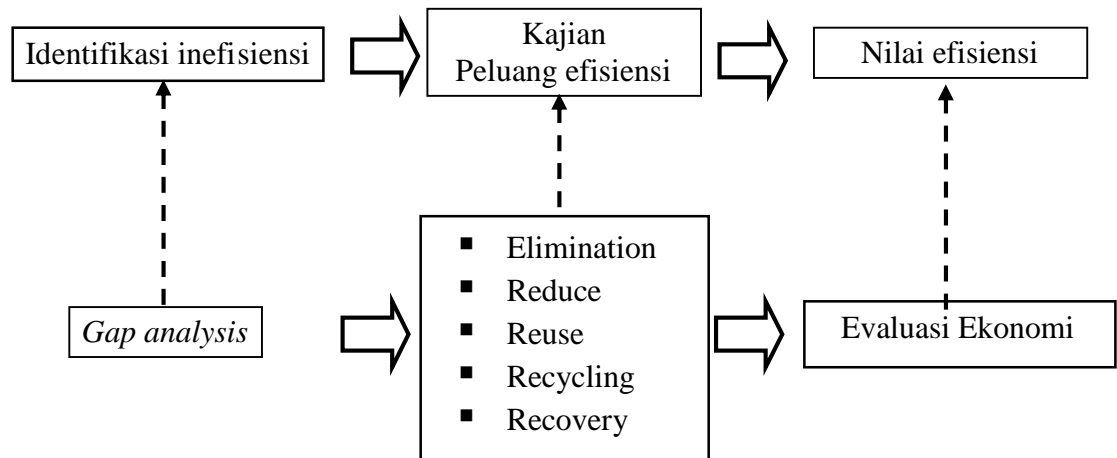
Hal yang tak kalah penting adalah merayakan keberhasilan, mempertahankan target telah dicapai, dan selanjutnya mengimplementasikan untuk peluang

lainnya. Produksi Bersih pada dasarnya adalah bagian dari pekerjaan dan bukan suatu program sehingga industri akan melakukan perbaikan berkelanjutan. Keberhasilan penerapan Produksi Bersih pada industri sudah cukup banyak, baik pada industri skala kecil, menengah maupun besar untuk berbagai jenis produk industri (Purwanto, 2005).

BAB III: METODE PENELITIAN

3.1. Rancangan Penelitian:

Penelitian yang dilakukan untuk mengkaji peluang penerapan produksi bersih di WWTP #48 merupakan penelitian deskriptif yang dikombinasikan dengan eksperimen lapangan. Penelitian dilakukan melalui proses pengamatan atau survei lapangan untuk mendeskripsikan kondisi aktual di lapangan, yang kemudian dibandingkan dengan kondisi ideal untuk mengidentifikasi inefisiensi pemakaian air dan energi listrik dan klorin. Evaluasi peluang yang dapat dilakukan untuk peningkatan efisiensi pemakaian air dan energi listrik dan klorin menggunakan strategi 1E4R (*Elimination, Reduce, Reuse, Recycle, Recovery/Reclaim*), kemudian evaluasi ekonomi dilakukan untuk menetapkan besarnya peluang efisiensi. Eksperimen lapangan dilakukan untuk membuktikan perhitungan yang berdasarkan data rancangan. Untuk memperjelas proses kajian efisiensi dapat dilihat diagram alir kajian efisiensi pada gambar 3.1.



3.1. Diagram Alir Kajian Efisiensi

3.1.1. Identifikasi Inefisiensi

Untuk mengidentifikasi inefisiensi pemakaian air, energi listrik dan klorin menggunakan metode *gap analysis*. Data hasil pengamatan di lapangan dibandingkan dengan dengan kondisi ideal yang mengacu pada tata kelola yang baik (*Good Housekeeping*), kemudian ditentukan seberapa jauh penyimpangannya.

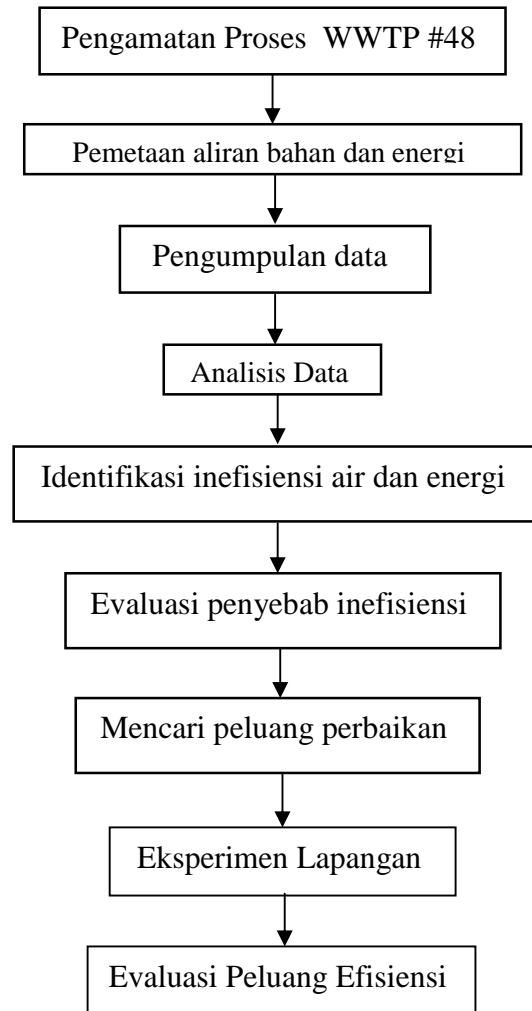
3.1.2. Kajian Peluang Efisiensi

Dengan berdasarkan hasil identifikasi sumber inefisiensi, kajian peluang penerapan produksi bersih dalam rangka peningkatan efisiensi pemakaian air dan energi listrik dan klorin pada pengoperasian WWTP #48 menggunakan strategi 1E4R (*Elimination, Reduce, Reuse, Recycle, Recovery/Reclaim*).

3.1.3. Evaluasi Ekonomi

Evaluasi ekonomi digunakan untuk menghitung besarnya inefisiensi dan besarnya potensi penghematan yang didapatkan dari penerapan produksi bersih di WWTP #48. Adapun evaluasi ekonomi dilakukan sebagai berikut:

- a. Perhitungan besarnya nilai inefisiensi pemakaian air bersih dilakukan dengan cara mengalikan besarnya volume inefisiensi air per tahun dengan besarnya harga *lime hydrate* yang digunakan untuk pengolahan air tersebut.
- b. Perhitungan besarnya nilai dari potensi efisiensi energi listrik dilakukan dengan mengalikan besarnya energi listrik yang bisa dihemat per tahun dikalikan dengan harga energi listrik.
- c. Perhitungan nilai inefisiensi pemakaian klorin dilakukan dengan cara mengalikan total pemakaian klorin per tahun dengan besarnya harga $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ yang digunakan dalam proses klorinasi.

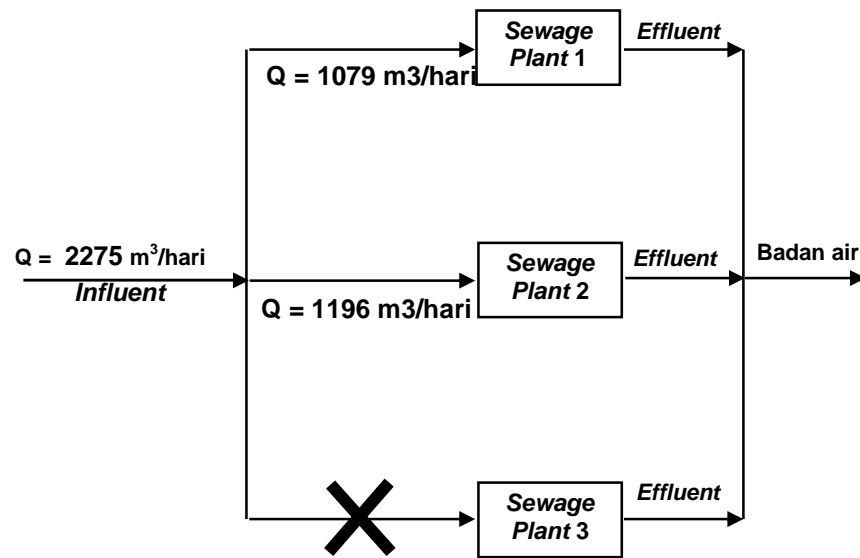


Gambar 3.2. Skema Penelitian

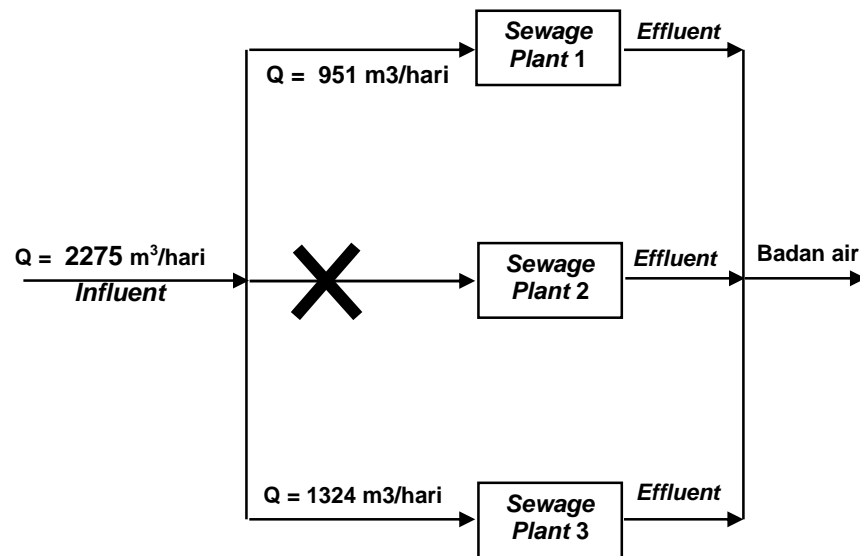
3.1.4. Eksperimen Lapangan

Pada awalnya eksperimen dirancang dengan mengurangi jumlah unit yang beroperasi dari tiga unit menjadi satu unit saja secara bergantian, tetapi karena faktor teknis eksperimen baru bisa dilaksanakan dengan mengurangi jumlah unit yang beroperasi dari tiga unit menjadi dua unit. Dua unit yang dioperasikan merupakan kombinasi dari tiga unit yang ada. Unit dikatakan mampu menerima peningkatan beban operasi jika kualitas *effluent* untuk parameter pH, BOD, COD, *suspended solid* dan

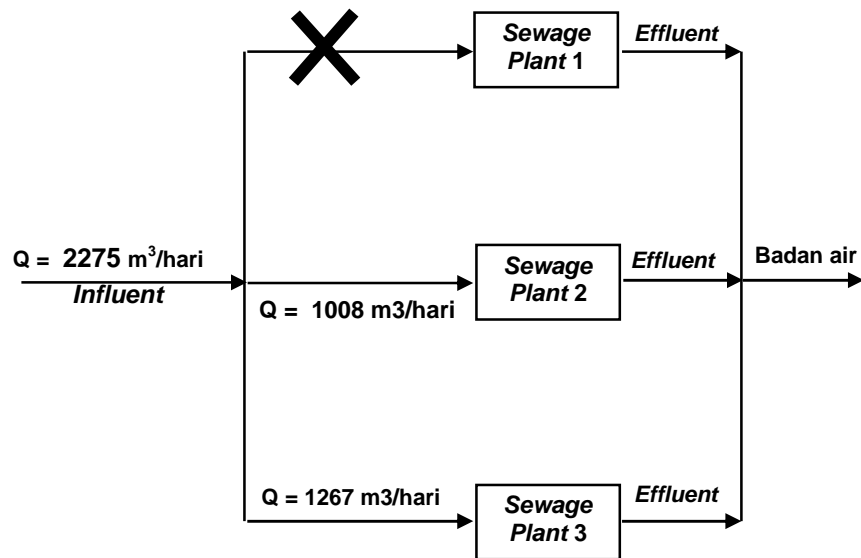
kandungan amoniak masih dibawah baku mutu SK Gubernur Kal -Tim. Untuk memperjelas gambaran proses eksperimen lapangan dapat dilihat skenario eksperimen pada gambar 3.3, 3.4, dan 3.5.



Gambar 3.3. Skenario Eksperimen Lapangan Pertama



Gambar 3.4. Skenario Eksperimen Lapangan Kedua



Gambar 3.5. Skenario Eksperimen Lapangan Ketiga

3.2. Waktu dan tempat penelitian

Penelitian mengenai peluang penerapan produksi bersih di WW TP #48, dilakukan di unit pengolah limbah cair domestik WWTP #48 di PT Badak NGL, Bontang, Kalimantan Timur, analisis sample air limbah dilakukan di laboratorium PT Badak NGL. Adapun waktu pelaksanaan penelitian antara bulan Oktober sampai dengan Desember 2006.

3.3. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini dilakukan di unit pengolah limbah air limbah WWTP #48 PT Badak NGL. Permasalahan inefisiensi yang diteliti terbatas pada pemakaian air dan energi listrik dan klorin, kemudian usaha-usaha peningkatkan efisiensi hanya terbatas pada perbaikan tata kelola dan pengembangan prosedur dalam kerangka pemenuhan baku mutu limbah.

3.4. Jenis dan Sumber Data

1. Data primer meliputi:
 - a. Data yang langsung diambil dilapangan yang meliputi data operasi dan data kondisi fisik semua peralatan di masing-masing unit di WWTP #48.
 - b. Data hasil uji coba peningkatan beban kerja pada masing-masing unit di WWTP #48.
2. Data sekunder meliputi:
 - a. Laporan bulanan kualitas air WWTP #48 tahun 2005 - 2006.
 - b. Laporan studi teknologi alternatif pada proses dan peralatan kilang LNG PT Badak NGL tahun 1998.

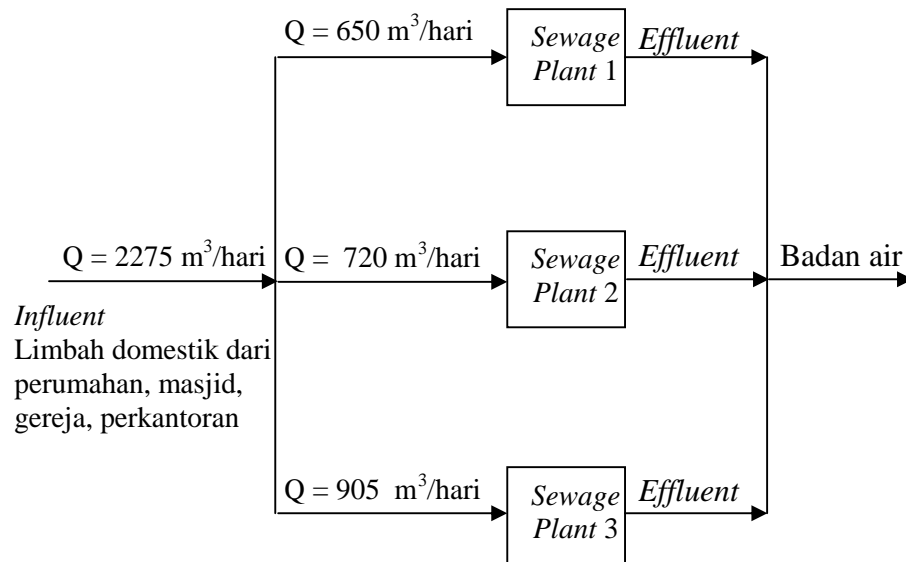
3.5. Metode Analisis Kimia

Metode analisis kimia yang digunakan adalah untuk analisis pH (Standard Method 2010), analisis BOD (Standard Method 5210), analisis COD (Standard Method 5220), analisis *suspended solid* (Standard Method 2540), analisis amonia (Standard Method 4500).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Tinjauan *Waste Water Treatment Plant* #48

WWTP # 48 merupakan unit pengolahan limbah cair domestik yang berada di PT. Badak NGL dengan kapasitas $4.400 \text{ m}^3/\text{hari}$. Pada WWTP # 48 ini terdapat 3 unit pengolahan yang beroperasi secara paralel yaitu *Sewage plant I (Rotary Biodisc)*, *Sewage plant 2 (Activatid Sludge)*, dan *Sewage plant 3 (Aerated Facultatif Lagoon)*. Aliran utama air limbah domestik dengan rata-rata debit $2275 \text{ m}^3/\text{hari}$, setelah melewati *flow distributor* akan terbagi menjadi tiga aliran yang masing-masing menuju *Sewage plant I* dengan rata-rata debit $650 \text{ m}^3/\text{hari}$, *Sewage plant 2* dengan rata-rata debit $720 \text{ m}^3/\text{hari}$, dan *Sewage plant 3* dengan rata-rata debit paling besar yaitu $905 \text{ m}^3/\text{hari}$. Alur air limbah domestik menuju WWTP #48 selengkapnya dapat dilihat di Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Diagram Alir Alur Air Limbah Domestik

4.1.1. *Sewage Plant I (Rotary Biodisc)*

Sewage Plant 1 merupakan unit pengolah limbah perumahan yang pertama kali dibangun, bersamaan dengan dibangunnya Train A dan B.

Unit ini memiliki kapasitas 600 M³/ hari, dirancang untuk mengolah limbah dengan kandungan BOD₅ dan padatan tersuspensi masing-masing sebesar 250 mg/l. Unit ini merupakan sistem terlengkap dibandingkan lainnya, karena dilengkapi penstabil lumpur mikroba secara *anaerob* dan pengering lumpur (*sludge drying bed*).

Unit ini terdiri dari beberapa unit operasi yaitu :

1. Unit pengolahan awal
 - *Communitor*
 - *By pass bar screen*
 - Tangki ekualisasi teraerasi
2. Unit pengolahan primer yaitu tangki kombinasi sedimentasi dan perombakan (*imhoff tank*)
3. Unit pengolahan sekunder
 - *Rotating biodisc*
 - Tangki penjernih akhir
 - Klorinasi
4. Pengolahan lumpur yaitu perombakan lumpur secara *anaerob* dan *sludge drying bed*
5. Penampung lumpur.

Limbah cair dari perumahan masuk kedalam unit *rotary biodisc* melalui *communitor* dan *bypass screen*. Fungsi dari alat tersebut adalah menghancurkan material-material kasar yang terbawa oleh aliran limbah. Pada kondisi normal , limbah cair masuk kedalam communitor 48 Y-1 melalui open top inlet berdiameter 8 “ melewati lubang-lubang berukuran ¼ “ yang terdapat pada revolving screen, kemudian keluar pada bagian bawah screen housing. Material kasar yang terbawa aliran limbah tertahan pada revolving screen dan dihancurkan menggunakan

gerigi *communitor*. Apabila *communitor* tidak berfungsi, maka aliran limbah dialihkan melalui *bypass screen* berukuran 1 “.



Barscreen & Bak ekualisasi



Tanki Aerasi



Pompa Sirkulasi



Tanki Sedimentasi



Rotating Disc



Final clarifier



Chlorine Contact Tank



Effluent dan Flow Meter

Gambar. 4.2. Unit Sewage Plant 1

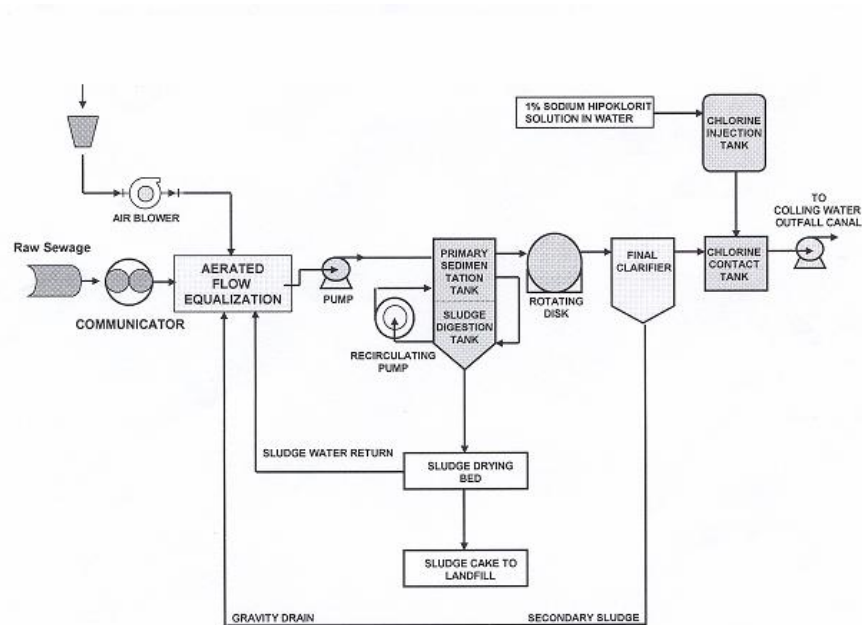
Limbah yang telah dibersihkan dari material kasarnya, masuk kedalam tangki ekualisasi teraerasi berkapasitas 120 m³. Tangki ini berfungsi untuk meredam fluktuasi aliran dan kualitas limbah yang masuk kedalam pengolahan limbah, sehingga dapat diperoleh hasil pengolahan dengan kualitas relatif konstan. Udara dialirkan melalui empat buah diffuser yang terdapat didasar tangki. Udara tersebut selain digunakan untuk aerasi, juga untuk mengaduk cairan agar padatan yang terdapat dalam limbah tidak mengendap. Udara dialirkan menggunakan sebuah blower 48K-1 berkapasitas 170 m³/jam, dengan laju alir 100 cfm dan tekanan 6 psig. Air dari tangki ekualisasi dipompakan kedalam *imhoff tank* menggunakan dua buah pompa berkapasitas 110 gpm.

Proses yang terjadi didalam *imhoff tank* adalah sedimentasi dan perombakan anaerobik didasar tangki. Limbah dari tangki ekualisasi masuk kedalam kompartemen sedimentasi, dibawah permukaan tangki. Dasar tangki sedimentasi dibuat miring keempat sisinya dan dan memusat ditengah agar lumpur terkumpul sehingga mudah didrain menuju ke pengeringan, melalui pipa buangan yang berjarak 2 meter dari dasar tangki . Pada pipa ini terpasang blok valve yang hanya dibuka untuk mengalirkan lumpur ke bak pengeringan. Waktu tinggal di zona sedimentasi ini adalah 2 jam. Padatan berat dalam limbah mengendap pada dinding kompartemen perombakan melalui lubang berukuran 6". Pada kompartemen perombakan ini terjadi proses perombakan anaerobik. Padatan yang terendapkan disalurkan kedalam *dryng bed* melalui *sludge withdrawal* secara intermitten setiap 2-3 minggu. Limpasan cairan dari tangki masuk kedalam *rotating biodisk* (48- V-13).

Limbah cair didalam *Sewage Plant* 1 mengalami proses oksidasi oleh mikroorganisme yang menempel dipermukaan *disk*. Unit *Sewage Plant* 1 ini mempunyai kapasitas 600 m³/hari dengan kemampuan

menghilangkan BOD₅ sebesar 89%. *Sewage Plant* 1 ini terdiri dari serangkaian disk yang terbuat dari material plastik dengan luas permukaan disk 7353m². Disk tersebut berputar perlahan dengan 40% luas permukaan *disk* terendam pada limbah cair yang diolah. Perputaran *disk* tersebut menyebabkan terjadinya absorpsi oksigen akibat terjadinya kontak antara lapisan film air limbah pada permukaan disk dengan udara. Mikroorganisme yang terdapat dipermukaan disk memanfaatkan oksigen terlarut tersebut untuk mengoksidasi zat organik yang terdapat didalam limbah cair.

Limbah cair yang telah dioksidasi pada *Sewage Plant* 1 masuk kedalam *final clarifier* (48D-05). Fungsi utama alat ini adalah untuk memisahkan cairan dari padatnya. Padatan yang mengendap terkumpul pada lapisan dasar *clarifier* ini adalah 2,5 jam dengan laju pengendapan dipermukaan 18 m³/hari/ m² dengan kapasitas cairan 66 m³. Cairan limbah yang telah dijernihkan, limpasannya akan melalui weir yang kemudian masuk kedalam *chlorine contact tank*. Didalam tangki ini larutan sodium hipoklorit diinjeksikan kedalam aliran limbah yang telah diolah. Pengaturan dosis injeksi klorin dilakukan secara manual. Dosis klorin yang diinjeksikan adalah 10 mg/L. Injeksi klorin tersebut dimaksudkan sebagai disinfektan untuk mengurangi kandungan total coliform dalam limbah hasil olahan. *Effluent* limbah terklorinasi mengalir melalui *weir* berbentuk V, lalu masuk kedalam *discharge pump pit*. Fungsi dari *weir* V adalah untuk mengukur laju alir efluen limbah hasil olahan. *Flowmeter* terdiri dari *flow transmitter*, *recorder* dan *indicator*. Cairan yang tertampung didalam *discharge pump pit* dipompa menggunakan dua buah pompa dengan kapasitas 435 l/menit menuju *outfall canal*. Dengan kandungan klorin sekitar 0,6-0,7 ppm.



Gambar 4.3. Diagram Alir Sewage Plant 1

4.1.2. Sewage plant 2 (Activated Sludge)

Unit *Sewage plant 2* berkapasitas 1800 m³/ hari, yang terdiri dari tangki aerasi, tangki pengendapan, kompressor, unit pompa dan pengering.



Distributor Influent



Pompa Blower



Tangki Aerasi



Settling Tank



Sludge Collecting Tank



Sludge Drying Bed



Chlorination Tank



Effluent dan Flow Meter

Gambar. 4.4. Unit Sewage Plant 2

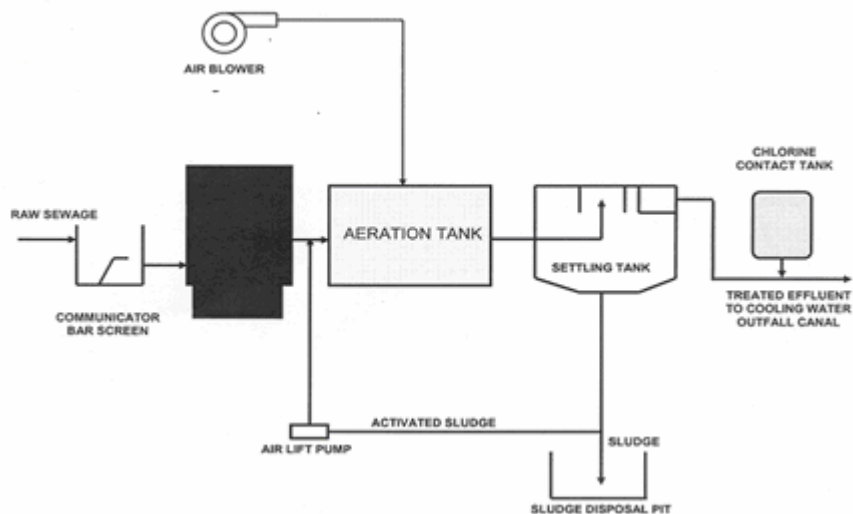
Unit tersebut menggunakan prinsip lumpur aktif dalam mendegradasi senyawa organik yang terdapat dalam limbah. Sistem pengolahan ini dirancang oleh *Peterson Candy*. Sistem ini mempunyai kapasitas desain olahan kontinu $75 \text{ m}^3/\text{jam}$ ($1800\text{m}^3/\text{hari}$), dengan beban BOD masuk 250 mg/L , *suspended solid* 30 mg/L . Limbah domestik dari perumahan diolah secara paralel didalam tiga buah unit pengolahan yaitu tangki aerasi 48-D-008A, 48-D-008B, 48-D-008D, dengan masing-masing unit pengolahan berfungsi sebagai unit aerasi dan sedimentasi. Pada setiap bak dilengkapi dengan pendistribusian udara untuk kehidupan mikroorganisme dan juga berfungsi sebagai pengaduk.

Aliran *feed* masuk kebak diruang pompa setelah melalui screen yang menyaring kotoran-kotoran kasar. Dari bak ini feed dipompa oleh pompa 48G-5A/B/C/D, melalui bak pembagi, menuju tangki aerasi. Bak pembagi ini berupa bangunan beton dengan bak pembagi terletak

dibagian atas, sedangkan bagian bawahnya adalah bak penampung lumpur. Tangki aerasi dan tangki pengendap lumpur menyatu disebut tangki 48D-8A/B/D dengan bentuk silinder pengendap berada didalam silinder tangki aerasi. Fungsi utama tangki aerasi adalah untuk memberikan udara kepada bakteri serta menghancurkan lumpur agar penyebarannya merata keseluruh bagian cairan dalam tangki aerasi. Udara disuplai melalui blower 48KM-3A/B, 48KM-4A/B, 48KM-6A/B. Tangki aerasi dilengkapi dengan pipa saluran udara berukuran 6 inci dengan 16 buah pipa cabang untuk mengalirkan udara ke difusser. Diffuser adalah lubang yang menyemburkan udara dengan kecepatan tinggi. Laju alir udara yang dibutuhkan adalah 100 m³/kg BOD/hari. Limbah dari aeration tank dimasukkan kedalam *secondary clarifier tank*.

Secondary clarifier tank berfungsi untuk memisahkan lumpur aktif yang terbentuk didalam *aeration tank*. Lumpur aktif yang terendapkan dikembalikan kedalam tangki aerasi secara kontinu dan sebagian lainnya ditampung dalam bak penampung padatan (*sludge drying beds*). Tangki ini dilengkapi dengan alat pembersih yang digerakkan berputar oleh shaft yang dipasang tegak pada bagian pusat silinder. Alat pembersih ini digunakan untuk mendorong lumpur yang mengendap didasar tangki agar berkumpul dalam bak pengumpul lumpur untuk selanjutnya dibuang kebak pengering. Pada dasarnya tangki aerasi maupun tangki sedimentasi terdapat saluran pembuangan untuk membuang akumulasi lumpur didasar tangki pengering 48D-9. Bak pengering ini adalah bangunan beton yang dibagi menjadi dua bagian yang jika terjadi kelebihan level, aliran overflo wnya dapat dialirkan kerumah pompa kembali. Didasar bak pengering dipasang concrete yang berlubang-lubang untuk mengalirkan air ke tanah. *Concrete* ini dipasang berjajar dengan bagian atasnya ditutup gravel serta pasir.

Air limbah hasil olahan dengan kandungan BOD 20 mg/L dan *suspended solid* 30 mg/L dialirkan kedalam bak pembubuhan klorin (*chlorin contact tank*), pemberian klorin dengan menggunakan alat yaitu spears dan klorin yang digunakan dalam bentuk tablet dan terdiri atas 9 unit dengan masing-masing 4 tabung dan isi masing-masing tabung 30 tablet, dan diharapkan air yang melalui contac klorin memenuhi Baku Mutu Lingkungan yang ditetapkan sebelum dibuang kelaut melalui *outfall canal*



Gambar 4.5. Diagram Alir Sewage Plant 2

4.1.3. Sewage plant 3 (Unit Aerated Facultatif Lagoon)

Lagoon atau kolam sering disebut *reactor biological*. *Lagoon* dilengkapi dengan peralatan aerasi baik alamiah maupun dengan menggunakan alat. Disini oksigen yang berada diudara dilarutkan kedalam kolam. Keberadaan bakteri didalam kolam dimanfaatkan dalam penguraian.

Sewage plant 3 merupakan unit pengolah limbah yang dibangun terakhir dari unit pengolahan limbah cair untuk pemukiman. Unit ini dibangun untuk mengantisipasi jumlah limbah perumahan yang

semakin meningkat dengan dibangunnya unit-unit perumahan permanent di lingkungan PT. Badak NGL. Prinsip pengolahan limbah cair dalam unit *lagoon* ini adalah proses biologis, yaitu proses dekomposisi senyawa organik secara *aerob* dan *anaerob*. Proses *aerob* terjadi pada permukaan atas *lagoon*, sedangkan proses *anaerob* terjadi pada bagian *lagoon* yang lebih dalam. Aerated lagoon ini berbeda dengan dua unit sebelumnya yang menggunakan bakteri *aerob* dan aeration ponds, pengolah air limbah sistem lagoon ini menggunakan sistem *aero facultatif lagoon*.

Sistem aerated *lagoon* ini menggunakan peralatan yang lebih sederhana namun hanya dapat diterapkan pada lahan yang cukup luas.

Sistem *aerated lagoon* terdiri dari beberapa unit operasi yaitu :

1. Unit pengolahan awal
 - *Bar Screen*
 - *Communitor*
2. *Aerated Facultatif Lagoon Cells*
3. *Maturing Lagoon* (kolam sedimentasi)
4. *Ruang klorinasi*

Sistem lagoon ini terdiri dari empat tahap yaitu :

1. Tahap pengolahan awal (*preliminary treatment*) yaitu penyaringan dengan *bar screen*, dan penghancuran kotoran dengan *communitor* 48YM-6A/B
2. Tahap pencernaan limbah organik dengan sistem *aerated facultatif lagoon*, dimana digunakan empat lagoon 48D-18A/B/C/D dan *floating agitator* 48YM-7A/B/C
3. Tahap *maturing* untuk meningkatkan mutu pengolahan air limbah dari keempat lagoon.

4. Tahap klorinasi yaitu pemberian sejumlah klorin ke air yang telah diolah, sebelum dibuang ke perairan bebas.



Comminutor



Floating Aerator



Bak Maturasi



Ruang Klorinasi



Effluent dan Flow Meter



Aliran Ke Badan Air

Gambar. 4.6. Unit Sewage Plant 3

Proses pengolahan limbah yang terjadi di *lagoon* dilakukan dengan tiga cara, yaitu pengolahan cara *aerob*, *anaerob* dan *facultatif*.

1. Pengolahan cara *aerob*

Beberapa proses pengolahan secara *aerob* yaitu :

- a. Kolam oksidasi

Prinsip dasar dalam oksidasi adalah kemampuan pemulihan karena adanya bantuan dari luar.

Faktor-faktor yang memengaruhi kerja kolam oksidasi yaitu :

- Kedalaman kolam.

Kedalaman kolam yang lebih dari 2 m mengakibatkan sinar matahari tidak dapat mencapai dasar kolam sehingga menghambat proses fotosintesis.

- Kondisi limbah

Limbah yang mengandung zat padat kasar, minyak, kandungan bahan organik yang tinggi, zat tersuspensi dan terlarut akan menghalangi sinar matahari sehingga fotosintesis tidak terjadi.

- Iklim

Suhu sangat mempengaruhi sistem kolam oksidasi. Pada cuaca cerah proses oksidasi berlangsung dengan baik, oksigen terlarutpun bertambah banyak sehingga nilai BOD akan turun, dan sebaliknya jika hujan turun dan mendung, aktivitas bakteri berkurang, kolam kekurangan oksigen sehingga terciptanya kondisi *anaerob*.

b. Lumpur Aktif

Lumpur aktif yaitu jumlah total padatan tersuspensi yang berasal dari kolam pengendap lumpur aktif. Lumpur banyak mengandung zat pengurai sehingga sangat baik untuk memakan bahan organik.

2. Pengolahan cara *anaerob*

Pada pengolahan cara *anaerob*, mengubah bahan buangan menjadi metana dan CO₂ dalam keadaan tanpa udara. Keuntungan proses ini adalah energi yang dibutuhkan sedikit, menghasilkan gas metana

yang dapat dimanfaatkan kembali, lumpur yang dihasilkan sedikit dan mampu menguraikan bahan organik yang lebih kompleks pada konsentrasi yang tinggi.

3. Pengolahan secara *fakultatif*

Kolam fakultatif adalah kolam yang mengandung bakteri yang memiliki adaptasi tinggi. Bakteri dapat berfungsi sebagai organisme *aerob* bila terdapat oksigen, dan berfungsi sebagai organisme *anaerob* bila tidak ada oksigen.

Pada proses *aerated facultatif lagoon* ini terdapat 3 jenis zona proses, yaitu :

1. Zona permukaan / daerah *aerob*

Pada zona ini terjadi penguraian bahan-bahan organik dalam limbah oleh bakteri *aerob*. Oksigen disuplai oleh kerja *floating agitator*. Proses biokonversi oleh bakteri *aerob* ini menghasilkan bahan organik yang lebih sederhana dan bakteri baru dimana keduanya membentuk *settleable biomass*. *Settleable biomass* ini, bersama-sama *floatable matter* mengendap membentuk *organic sludge*.

2. Zona *intermediate* / daerah fakultatif

Pada zona ini terjadi dekomposisi bahan organik oleh bakteri fakultatif yaitu bakteri yang bisa hidup dengan atau tanpa oksigen. Pada proses ini juga dihasilkan *organic sludge*.

3. Zona dasar / daerah *anaerob*

Pada zona ini terjadi akumulasi padatan dan dekomposisi padatan tersebut oleh bakteri *anaerob*. Proses ini menghasilkan inert *organic sludge* yang tidak dapat lagi diuraikan oleh bakteri, serta gas-gas seperti CO₂, H₂S, dan CH₄. Gas-gas dari zona dasar ini naik ke zona di atasnya dan dioksidasi oleh bakteri dan

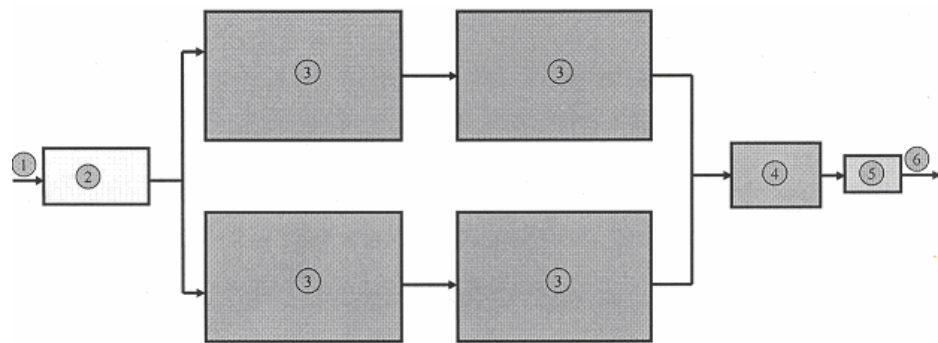
sebagian kecil dilepas dipermukaan. Dengan adanya proses biokonversi oleh bakteri *anaerob* ini bahan organik dalam sludge yang tersisa tidak lebih dari 25% bahan organik yang ada semula, karenanya dalam sistem *lagoon* ini, lumpur yang dihasilkan tidak perlu dibuang karena unit ini memang didesain untuk bisa berfungsi baik tanpa dikeruk endapannya selama masa operasi 20 tahun.

Pengolah air limbah sistem lagoon ini memiliki empat kolam yang dirangkai secara seri setiap dua kolam, satu buah kolam *maturating lagoon*, *klorinasi*, *barscreen* dan *communitor*.

Kapasitas *lagoon* ini adalah 2000 m³/hari. Kapasitas pengolahan lagoon didasarkan pada jumlah harian rata-rata limbah cair yang berasal dari pemukiman disekitar area pabrik. Air limbah yang masuk didistribusikan kedalam empat buah lagoon, setiap dua buah lagoon dihubungkan secara berurutan dengan kapasitas setengah dari kapasitas totalnya (1000 m³). Waktu tinggal limbah yang diolah didalam lagoon ini adalah 6 hari. Dimensi masing-masing *lagoon* ini adalah panjang 24 m, lebar 24 m, kedalaman efektif 3 m.

Setiap *lagoon* dilengkapi dengan *mechanical surface aerator floating type* yang berfungsi untuk mendispersikan oksigen kedalam cairan agar mencapai kandungan oksigen terlarut rata-rata 3 mg/L. Kandungan BOD setelah keluar dari lagoon diharapkan berada dibawah 29 mg/L. Untuk meningkatkan kualitas effluen akhir, cairan dimasukkan *maturating lagoon*. Waktu tinggal cairan didalam *maturating lagoon* adalah 18 jam. Dimensi dari *maturating lagoon* adalah panjang 48 m, lebar 22 m, kedalaman efektif 1 m.

Selain oleh bakteri, penurunan kadar BOD juga disebabkan oleh adanya proses fotosintesa dipermukaan kolam. Fotosintesa ini secara tidak langsung berperan dalam proses penurunan kadar BOD karena menghasilkan oksigen yang digunakan oleh bakteri *aerob* untuk melakukan degradasi bahan-bahan organik dalam limbah. Proses ini terjadi dalam kolam maturasi. Sistem pengolahan limbah *aerated lagoon* tidak memerlukan pengolahan terhadap padatan yang terendapkan. Peralatan ini dirancang untuk laju akumulasi lumpur yang sangat lambat, yaitu 1,5 cm/tahun. Endapan lumpur yang dihasilkan serta yang terbawa dari lagoon memerlukan pengerukan secara berkala dari dasar kolam maturasi.



Keterangan:

1. Influent.
2. Comminutor
3. Area *facultative lagoon*
4. Bak Maturasi.
5. Ruang Klorinasi

Gambar 4.7. Diagram Alir Sewage Plant 3

Limbah dari *maturing lagoon* masuk kedalam ruang klorinasi berukuran 10m x 6m x 1m untuk menginjeksikan klorin. Tujuan dari klorinasi ini adalah untuk mengurangi total coliform agar tidak lebih dari 10.000 MPN/100 ml. Disifektan yang digunakan adalah kalsium hipoklorit.

Efisiensi reduksi coliform pada proses ini mencapai 90-95%. Setelah kontak dengan klorin air yang akan dibuang, air limbah dialirkan melalui saluran beton yang berkelok-kelok sehingga klorin merata diseluruh bagian air. Kemudian aliran air tersebut dibuang keperairan bebas, dengan konsentrasi yang aman bagi lingkungan dan memenuhi Baku Mutu Lingkungan yang suda ditetapkan.

4.2. Analisis SWOT Terhadap WWTP #48

Analisis SWOT dilakukan untuk mengidentifikasi secara lebih detail hal-hal yang menjadi kekuatan, kelemahan, peluang serta ancaman dalam penerapan produksi bersih pada WWTP #48.

Tabel 4.1. Analisis SWOT Terhadap WWTP #48

<i>Strenghts (Kekuatan)</i>	<i>Weaknesses (Kelemahan)</i>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Kandungan pencemar dalam <i>influent</i> cukup rendah. Untuk parameter pH, BOD, COD dan SS sudah memenuhi baku mutu limbah. 2. Kualitas <i>effluent</i> cukup bagus, jauh memenuhi baku mutu limbah. 3. Sarana dan prasarana WWTP #48 cukup memadai. 4. Proses pengolahan di WWTP #48 cukup bagus, rata-rata penyisihan BOD 95 %. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Konsumsi air bersih di perumahan PT Badak NGL cukup besar yaitu 700 L/kapita/hari, sehingga secara otomatis jumlah limbah yang masuk ke unit pengolah limbah juga cukup besar. 2. Pemakaian air hanya berorientasi pada air tanah, belum ada upaya pemanfaatan kembali air <i>effluent</i>. 3. WWTP #48 beroperasi jauh diatas beban limbah yang masuk sehingga terjadi pemborosan energi listrik. 4. Pemeliharaan peralatan WWTP #48 tidak optimal, sehingga banyak peralatan yang rusak dan kinerjanya tidak maksimal 5. Proses klorinasi tidak optimal dan tidak efisien.

<i>Opportunities (Peluang)</i>	<i>Threats (Ancaman)</i>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Perusahaan memiliki kewenangan untuk menghimbau bahkan lebih jauh dapat memberi teguran kepada penghuni untuk menghemat konsumsi air bersih. 2. <i>Effluent WWTP #48</i> sudah memenuhi spesifikasi sebagai air pemadam kebakaran, air irigasi dan pengendalian debu. Dengan pengolahan yang relatif sederhana maka <i>effluent</i> tersebut akan memenuhi spesifikasi sebagai air umpan boiler. 3. Kapasitas pengolahan unit pengolah limbah cukup besar, jauh melebihi beban yang masuk. 4. Perbaikan sistem dan pengoperasian klorinasi akan meningkatkan efektifitas desinfeksi dan efisiensi pemakaian kalsium hipoklorit. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pemahaman akan urgensi penerapan produksi bersih kurang. 2. Perhatian manajemen lebih terfokus pada bisnis inti, perhatian terhadap unit pengolah limbah kurang maksimal, sehingga upaya-upaya perbaikan lebih banyak ke arah kilang.

4.3. Kajian Peluang

Kajian yang dilakukan untuk melihat peluang penerapan produksi bersih pada sistem pengolahan limbah cair di WWTP #48 menggunakan strategi 1E4R (*Elimination, Reduce, Reuse, Recycle, Recovery/Reclaim*). Dalam praktiknya pelaksanaan produksi bersih dilakukan melalui tata kelola yang baik, penggantian bahan baku, perbaikan prosedur operasi, modifikasi proses dan peralatan, penggantian teknologi, modifikasi dan reformulasi produk

4.3.1. *Elimination*

Tinjauan dari segi *elimination* (pencegahan) adalah dengan mengkaji usaha-usaha yang dilakukan atau peluang tindakan yang bisa dilakukan untuk mencegah timbulnya limbah langsung dari sumbernya, mulai dari

bahan baku, proses produksi sampai produk. Pencegahan timbulnya limbah dan pemborosan sumber daya merupakan tahapan pertama pada produksi bersih

Limbah cair yang akan diolah di WWTP #48, dianggap sebagai bahan baku. Total volume air limbah yang masuk adalah rata-rata 2275 m³/hari, dengan rata-rata BOD 40 Kg/m³ dan nilai COD rata-rata 90 Kg/m³. Adapun rata-rata pembebanan BOD pada WWTP #48 adalah 84,000 Kg/hari. Menurut Corbitt limbah domestik mempunyai rentang nilai BOD antara 110-400 Kg/m³ dengan rata-rata 220 Kg/m³, dan rentang nilai COD 250-1000 Kg/m³ dengan rata-rata 500 Kg/m³. Berarti bila dibandingkan dengan rata-rata nilai BOD dan COD limbah domestik pada umumnya, nilai BOD dan COD influen #WWTP #48 sangat rendah. Dengan melihat besarnya pemakaian air bersih maka rendahnya nilai BOD dan COD disebabkan adanya pengenceran.

Konsumsi air bersih diperumahan rata-rata 700 L/kapita/hari, jumlah itu berarti 600 % diatas rata-rata pemakaian air bersih oleh penduduk 100 L/kapita/hari. Bila jumlah kapita adalah 4552 orang, inefisiensi pemakaian air bersih sebesar 996,888,000 L/tahun. Salah satu komponen biaya pengolahan air tanah menjadi air bersih adalah biaya pemakaian *lime hydrate*. Kebutuhan *lime hydrate* untuk pengolahan air adalah 0,036 Kg/M³, bila harga *lime hydrate* adalah Rp 1,369/Kg maka biaya pemakaian *lime hydrate* adalah Rp 49/M³. Bila diasumsikan biaya pengolahan air bersih hanya dari pemakaian *lime hydrate* maka inefisiensi air bersih setara dengan Rp 48,847,512/tahun.

Penggunaan air yang merupakan salah satu sumber daya alam secara tidak ekonomis merupakan tindakan yang tidak sejalan dengan produksi bersih. Dan tingginya pemakaian air bersih diperumahan akan meningkatkan jumlah limbah cair yang harus diolah di WWTP # 48.

Sekarang ini masyarakat penghuni kompleks dibiarkan dengan polanya sendiri-sendiri, tidak ada himbauan dan prosedur dari perusahaan untuk meminimasi pemakaian air sebagai sumber daya, minimasi buangan limbah cair atau larangan untuk membuang bahan-bahan yang susah terdegradasi atau bersifat racun ke sewer seperti detergen dan antiseptik. Larangan yang ada hanya untuk tidak membuang bahan-bahan yang nantinya menyumbat saluran pembuangan.

4.3.2. *Reduce* (pengurangan)

Tinjauan dari segi *reduce* adalah dengan mengkaji ada tidaknya upaya untuk mengurangi timbulan limbah pada sumbernya atau upaya pengurangan pemakaian energi. Pengurangan timbulan limbah akan menaikkan efisiensi produksi dan mengurangi pemakaian bahan baku dan energi.

Tindakan-tindakan *reduce* (pengurangan) bisa berupa penggantian bahan berbahaya menjadi tidak berbahaya, pengurangan pemakaian air dan energi dengan cara perbaikan proses produksi/operasi, penggantian peralatan/teknologi yang lebih efisien atau perubahan tata letak.

Dalam hubungannya dengan WWTP #48, upaya penerapan *reduce* (pengurangan) dapat dilakukan dengan melalau tata kelola yang baik (*Good Housekeeping*), perbaikan prosedur operasi, modifikasi proses dan peralatan, penggantian teknologi, modifikasi dan reformulasi produk dan perbaikan proses operasi.

Pelaksanaan tata kelola yang baik dengan pelaksanaan manajemen dan operasi tepat guna, penerapan prosedur standar operasi untuk mencegah terjadinya tumpahan, kebocoran, pemborosan bahan dan energi, sejak dari penerimaan, penyimpanan, dan penanganan bahan.

Secara umum kandungan pencemar dalam *influent* WWTP #48 cukup rendah. Ditinjau dari parameter yang dipersyaratkan dalam SK Gubernur Kal-Tim yaitu pH, BOD, COD, SS dan amoniak mengenai baku mutu limbah domestik, kecuali untuk parameter amoniak maka kualitas air limbah domestik yang masuk ke WWTP #48 sudah memenuhi persyaratan.

Kualitas *influent Sewage Plant 1/2/3* selengkapnya secara berturut-turut dapat dilihat pada Tabel 4.2, Tabel 4.3, dan Tabel 4.3.

Tabel 4.2. Hasil Analisis Influent dan Effluent Sewage Plant 1

Bulan	pH		BOD5 mg/L		COD mg/L		TSS mg/L		NH3-N mg/L	
	In	Out	In	Out	In	out	In	Out	In	Out
Nov.05	7,54	7,41	67	1,4	162	3	52	4	20,7	0,1
Des.05	7,80	7,42	25	1,0	42	11	14	4	6,8	<0,1
Jan.06	7,29	7,38	23	1,0	47	6	14	6	4,9	<0,1
Feb.06	7,06	7,16	48	2,0	95	30	19	5	6,3	0,1
Mar.06	7,01	7,66	33	1,0	109	25	7	1	9,3	<0,1
Apr.06	7,11	7,22	35	1,0	84	9	20	5	6,2	<0,1
Mei 06	7,48	7,20	38	2,0	61	55	48	4	5,8	0,3
Jun.06	7,20	7,38	35	1,0	44	15	19	10	7,6	0,2
Jul.06	7,83	7,52	40	0,8	68	20	3	3	9,9	0,1
Ags.06	7,20	7,37	25	0,4	128	12	24	11	7,8	0,1
Sept.06	7,10	7,36	23	1,0	95	26	16	10	4,7	<0,1
Okt.06	7,43	7,63	26	0,4	60	14	34	15	12,8	<0,1
Rata-rata	7,34	7,39	35	1,1	83	19	24	7	8,6	0,1

Sumber: Data Sekunder (Laporan Bulanan SHEQ 2005 -2006)

Untuk *influent Sewage Plant 1* nilai pH antara 7,01 – 7,80 dan rata-ratanya 7,34, nilai BOD antara 23-67 mg/L dan rata-ratanya 35 mg/L, nilai COD antara 42-162 mg/L dan rata-ratanya 83 mg/L, nilai TSS antara 3 – 52 mg/L dan rata-ratanya 24 dan kandungan amoniak antara 4,7 – 20,7 mg/L dan rata-ratanya 8,6 mg/L. Dalam satu tahun ada dua kali kandungan amoniak melebihi baku mutu, yaitu pada bulan

November 2005 sebesar 20,7 mg/L dan bulan Oktober 2006 sebesar 12,8 mg/L.

Tabel 4.3. Hasil Analisis Influent dan Efluent Sewage Plant 2

Bulan	pH		BOD5 mg/L		COD mg/L		TSS mg/L		NH3-N mg/L	
	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out
Nov.05	7,18	7,53	40	1,2	87	3	22	5	8,8	0,3
Des.05	7,66	7,55	27	2,0	46	9	16	5	7,0	<0,1
Jan.06	7,19	7,63	28	1,0	75	9	18	3	5,4	<0,1
Feb.06	7,63	7,45	55	3,0	115	33	23	5	10,1	0,2
Mar.06	7,07	7,47	22	1,0	92	25	7	3	7,7	0,1
Apr.06	7,04	7,58	40	3,0	76	9	23	10	7,0	0,1
Mei 06	7,04	7,60	35	1,0	54	13	29	6	6,6	0,2
Jun.06	7,10	8,09	34	2,0	53	16	13	9	7,7	<0,1
Jul.06	7,83	7,85	42	1,2	97	52	3	2	9,8	0,1
Ags.06	7,12	8,04	32	1,5	52	31	19	9	7,8	<0,1
Sept.06	7,40	7,90	23	0,5	53	36	18	7	5,5	<0,1
Okt.06	7,34	7,41	27	0,9	93	20	36	12	13,8	<0,1
Rata-rata	7,30	7,68	34	1,5	74	21	19	6	8,1	0,1

Sumber: Data Sekunder (Laporan Bulanan SHEQ 2005 -2006)

Untuk *influent Sewage Plant 2* nilai pH antara 7,04 – 7,66 dan rata-ratanya 7,30, nilai BOD antara 22-55 mg/L dan rata-ratanya 34 mg/L, nilai COD antara 46-115 mg/L dan rata-ratanya 74 mg/L, nilai TSS antara 3 – 36 mg/L dan rata-ratanya 19 dan kandungan amoniak antara 5,4 – 13,8 mg/L dan rata-ratanya 8,1 mg/L. Dalam satu tahun ada dua kali kandungan amoniak melebihi bak u mutu, yaitu pada bulan Februari 2006 sebesar 10,1 mg/L dan bulan Oktober 2006 sebesar 13,8 mg/L.

Untuk *influent Sewage Plant 3* nilai pH antara 6,92 – 7,39 dan rata-ratanya 7,07, nilai BOD antara 15-38 mg/L dan rata-ratanya 30 mg/L, nilai COD antara 30-152 mg/L dan rata-ratanya 71 mg/L, nilai TSS antara 7 – 37 mg/L dan rata-ratanya 19 dan kandungan amoniak antara 3,8 – 8,7 mg/L dan rata-ratanya 6,2 mg/L.

Tabel 4.4. Hasil Analisis *Influent* dan *Efluent Sewage Plant 3*

Bulan	pH		BOD5 mg/L		COD mg/L		TSS mg/L		NH3-N mg/L	
	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out
Nov.05	7,06	7,07	38	1,2	64	5	21	14	5,7	0,4
Des.05	7,04	7,11	32	0,2	62	16	16	10	5,9	<0,1
Jan.06	7,13	7,15	30	1,0	65	11	16	14	3,8	0,6
Feb.06	6,92	6,86	38	2,0	80	38	13	35	6,4	0,6
Mar.06	7,03	6,97	25	1,0	78	22	7	8	5,3	0,1
Apr.06	7,07	7,06	34	2,0	73	7	21	11	6,7	2,5
Mei 06	6,97	7,04	33	1,0	30	18	28	9	4,4	0,2
Jun.06	6,99	7,10	37	4,0	45	14	19	7	7,7	1,8
Jul.06	7,39	7,22	15	8,0	76	29	7	5	8,7	3,4
Ags.06	7,04	7,11	28	0,8	68	19	20	8	5,8	<0,1
Sept.06	7,16	7,35	25	0,2	152	121	22	18	7,6	0,5
Okt.06	7,01	7,12	26	1,0	56	11	37	17	6,5	2,3
Rata-rata	7,07	7,10	30	1,9	71	26	19	13	6,2	1,0

Sumber: Data Sekunder (Laporan Bulanan SHEQ 2005 -2006)

Kualitas *effluent Sewage Plant 1/2/3* setelah melalui proses pengolahan menjadi lebih bagus lagi. Untuk *effluent Sewage Plant 1* nilai pH antara 7,16 – 7,66 dan rata-ratanya 7,39, nilai BOD antara 0,4-2,0 mg/L dan rata-ratanya 1,1 mg/L, nilai COD antara 3-55 mg/L dan rata-ratanya 19 mg/L, nilai TSS antara 1 – 15 mg/L dan rata-ratanya 7 dan kandungan amoniak antara < 0,1 – 0,1 mg/L dan rata-ratanya 0,1 mg/L.

Untuk *effluent Sewage Plant 2* nilai pH antara 7,41 – 8,09 dan rata-ratanya 7,68, nilai BOD antara 0,5-3,0 mg/L dan rata-ratanya 1,5 mg/L, nilai COD antara 3-52 mg/L dan rata-ratanya 21 mg/L, nilai TSS antara 3 – 12 mg/L dan rata-ratanya 6 dan kandungan amoniak antara < 0,1 – 0,3 mg/L dan rata-ratanya 0,1 mg/L.

Untuk *effluent Sewage Plant 3* nilai pH antara 7,41 – 8,09 dan rata-ratanya 7,68, nilai BOD antara 0,5-3,0 mg/L dan rata-ratanya 1,5 mg/L, nilai COD antara 3-52 mg/L dan rata-ratanya 21 mg/L, nilai TSS antara

3 – 12 mg/L dan rata-ratanya 6 dan kandungan amoniak antara < 0,1 – 3,4 mg/L dan rata-ratanya 0,1 mg/L.

Pengoperasian dan pemeliharaan unit pengolahan limbah merupakan titik lemah utama. SOP (*standard operating procedure*) peralatan yang tersedia (untuk *sewage plant* 1 dan 2) tidak diikuti dengan seksama. Hal ini, kemungkinan besar disebabkan ketidak pahaman terhadap proses biologis dalam sistem atau dapat juga disebabkan oleh sikap manajemen perusahaan yang menganggap sistem pengolahan limbah bukan bagian dari industri (*non-industrial plant*). Atau merupakan kombinasi keduanya.

1. Sewage Plant I (Rotary Biodisk)

Dari pengamatan dilapangan diketahui bahwa unit *Sewage Plant I* merupakan sistem terlengkap dibandingkan dengan lainnya. Unit memiliki bak ekualisasi (*surge tank*), dilengkapi dengan penstabilan lumpur mikroba secara anaerob, memiliki pengering lumpur (*sludge drying bed*), dilengkapi dengan alat ukur laju alir beserta dengan pencatatnya (*recorder*), memiliki SOP (*standard operating procedure*) yang sangat baik, ada *screening* sebelum *surface aerator*,

Berdasarkan pengamatan dilapangan diketahui bahwa pengoperasian unit tidak dilakukan secara optimal, diantaranya adalah:

1. SOP tidak dijalankan sepenuhnya, diantaranya tidak ada pengukuran *return sludge* dan tidak ada pengukuran jumlah lumpur yang dibuang.
2. Alat pengukur laju alir tidak bekerja, sehingga pengontrolan laju alir selama proses operasi tidak bisa dilakukan dengan optimum.
3. *Communitor* yang berfungsi sebagai penghancur kotoran tidak berfungsi dengan baik, sehingga kotoran yang masuk ke tahap

selanjutnya tetap berukuran besar dan otomatis memerlukan waktu penguraian yang lebih lama.

4. *Sludge drying bed* tidak terpelihara dengan baik.
5. Terjadinya scum pada pengendap akhir (*final clarifier*).
6. Sistem klorinasi kurang optimal.
7. Pembebanan operasi hanya sekitar 15 % dari kapasitas desain.

Karena hanya menerima beban 15 % saja, maka walaupun pengoperasian tidak dilakukan dengan optimal akan tetapi proses penyisihan BOD (*Biochemical Oxygen Demands*) cukup baik. Data BOD sepanjang tahun 2006 memperlihatkan hal tersebut, rata-rata terjadi penyisihan (*removal*) BOD sebesar 96 %, tetapi hal ini tidak diikuti dengan penyisihan SS yang baik, penyisihan SS hanya sekitar 71 %. Walaupun demikian, keluaran dari unit ini masih memenuhi baku mutu limbah cair yang berlaku.

Perbandingan kondisi perancangan dengan rata-rata kondisi aktual operasi unit *Rotary Biodisk* selama tahun 2006 dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 4.5. Perbandingan Antara Kondisi Perancangan Dengan Kondisi Aktual Operasi Sewage Plant 1

No	Parameter	Rancangan	Kondisi Aktual
1	Laju alir (m ³ /hari)	600	650
2	Konsentrasi BOD influen (mg/L)	250	35
3	Konsentrasi SS influen (mg/L)	250	24
4	Laju pembebanan BOD (Kg/hari)	150	23
5	Konsentrasi BOD efluen (mg/L)	< 30	1
6	Konsentrasi SS efluen (mg/L)	< 20	7

2. *Sewage Plant 2 (Activated Sludge)*

Sewage Plant 2 mengalami pembebanan BOD yang relatif jauh lebih rendah yaitu hanya sekitar 5 % dari perancangan, BOD keluaran dari unit ini sangat baik yaitu rata-rata 1,5 mg/L, sayangnya penyisihan SS hanya mencapai 68 %.

Kurang berhasilnya penyisihan SS disebabkan oleh kurang sempurnanya pengoperasian di lapangan di antaranya adalah (1). tidak teresdianya alat ukur laju alir, (2). pengukuran MLSS, SVI, DO seperti yang disarankan di SOP tidak pernah dilakukan, (3). penyalur udara termasuk pipa dan/atau *difusers* tidak terpelihara dengan baik, (4), terjadinya gumpalan lumpur (*scum*) di permukaan *clarifier*, dan (5). pengaturan terhadap pengembalian *return sludge* dan pembuangannya tampaknya tidak dilakukan menurut apa yang disampaikan dalam SOP.

Walaupun pengoperasian sistem ini belum sempurna, tetapi keluaran dari unit ini masih memenuhi baku mutu yang berlaku, baik baku mutu daerah maupun nasional.

Tabel 4.6. Perbandingan Antara Kondisi Perancangan Dengan Kondisi Aktual Operasi *Sewage Plant 2*

No	Parameter	Rancangan	Kondisi Aktual
1	Laju alir (m ³ /hari)	1800	720
2	Konsentrasi BOD influen (mg/L)	250	34
3	Konsentrasi SS influen (mg/L)	250	19
4	Laju pembebanan BOD (Kg/hari)	450	24
5	Konsentrasi BOD efluen (mg/L)	< 30	2
6	Konsentrasi SS efluen (mg/L)	< 20	6

3. *Aerated lagoon (Sewage Plant 3)*

Unit *aerated lagoon* merupakan unit yang paling sederhana, tanpa ada penanganan terhadap lumpur sama sekali, tidak ada *surge tank* dan hampir tidak dibutuhkan pengendalian. Hanya saja unit ini memerlukan lahan yang relatif jauh lebih luas dibandingkan dengan unit-unit lainnya. Unit ini telah mengalami perubahan dari rancangan awal, dua kolam aerasi pertama telah berubah menjadi kolam anaerobik (tanpa aerasi), hanya dua kolam berikutnya yang diaerasi. Dengan demikian, jumlah aerator yang bekerja hanya 2 buah dengan daya masing-masing 24,5 Kw.

Unit ini ternyata tidak disertai dengan SOP demikian pula informasi mengenai unit ini sangat terbatas. Tidak banyak informasi dapat dikumpulkan baik dari Perpustakaan Departemen Proses, Technical, maupun Perpustakaan Pusat PT. Badak NGL. Secara umum, hasil pengolahan unit ini telah memenuhi baku mutu yang berlaku. Nilai BOD keluaran mencapai rata-rata 1,9 mg/L, akan tetapi, sayangnya penyisihan SS hanya mencapai 32 %.

Data di atas menunjukkan bahwa sistem biologis dalam unit *aerated lagoon* berjalan dengan baik, hanya saja terdapat permasalahan dengan pengendapan lumpur. Ini disebabkan oleh pengaturan penempatan aerator saat ini dan bak maturasi yang tidak bekerja dengan baik. Penempatan aerator pada dua kolam berikutnya menyebabkan pembentukan lumpur mikroba akan terjadi pada kolam tersebut, kemudian lumpur yang terbawa limpasan mengendap di bak maturasi. Akan tetapi beban pada bak maturasi terlampaui besar, sehingga terjadi penumpukan lumpur. Hal ini sangat jelas terlihat di lapangan, bak maturasi sudah sangat dangkal dan bahkan ditumbuhi oleh rumput-rumputan

Hal lain yang dapat dikemukakan adalah upaya pemeliharaan unit ini yang kurang mendapatkan perhatian dibandingkan dengan unit-unit lainnya. Pinggiran kolam sebagian besar telah mengalami erosi. Hal ini mungkin disebabkan oleh luasnya lahan yang harus dipelihara.

Tabel 4.7. Perbandingan Antara Kondisi Perancangan Dengan Kondisi Aktual Operasi Sewage Plant 3

No	Parameter	Rancangan	Kondisi Aktual
1	Laju alir (m ³ /hari)	2000	905
2	Konsentrasi BOD influen (mg/L)	250	30
3	Konsentrasi SS influen (mg/L)	250	19
4	Laju pembebanan BOD (Kg/hari)	500	27
5	Konsentrasi BOD efluen (mg/L)	< 30	2
6	Konsentrasi SS efluen (mg/L)	< 20	13

Sekarang ini pembebanan BOD yang diterima masing-masing unit dari WWTP #48 jauh dibawah pembebanan BOD desain, bahkan Sewage Plant 2 dan Sewage Plant 3 rata-rata hanya menerima pembebanan 5 %. Secara detail persentase pembebanan aktual dibandingkan dengan kapasitas desain dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.8. Persentase Pembebanan Aktual terhadap Kapasitas Desain

No	Unit	Pembebanan BOD (Kg/hari)		Persentase (%)
		Rancangan	Kondisi Aktual	
1	<i>Sewage 1</i>	250	30	15
2	<i>Sewage 2</i>	450	19	5
3	<i>Sewage 3</i>	500	27	5

Sumber: Data Primer 2006

Walaupun ketiga unit tersebut bekerja dibawah kapasitas desain namun semuanya dioperasikan bersama-sama secara paralel. Secara

perhitungan satu unit pengolah limbah saja mampu mengolah seluruh air limbah yang masuk.

Untuk mengetahui secara pasti apakah pengoperasian sebagian unit pengolah limbah mampu mengolah seluruh air limbah yang masuk, dilakukan uji coba dilapangan. Uji coba dilakukan dengan hanya mengoperasikan dua unit dari tiga unit yang ada secara bergantian, adapun waktunya 12 hari. Masing-masing *effluent* dari kedua unit yang dioperasikan dipantau kualitasnya kemudian dibandingkan dengan baku mutu SK Gubernur Kal-Tim.

Biaya pemakaian energi dalam pengoperasian unit pengolah air limbah jumlahnya cukup signifikan. Menurut EPA, rata-rata biaya pemakaian energi mencapai 30 % dari seluruh biaya dan dari pemakaian energy tersebut 30 sampai 60 % -nya digunakan pada *secondary treatment*. Upaya penghematan energi dapat dilakukan diantaranya dengan pengoperasian unit atau peralatan seoptimal mungkin, perbaikan prosedur operasi, modifikasi peralatan, pemilihan peralatan yang paling paling efisien, dan pelatihan manajemen energi untuk operator.

Biaya pemakaian energi dalam pengoperasian WWTP #48 dapat dilihat di tabel 4.9 dan 4.10. Upaya-upaya penghematan pemakaian energi listrik dalam pengoperasian WWTP #48 sudah dilakukan, seluruh blower dan motor yang terpasang tidak dioperasikan secara keseluruhan. Di *Sewage Plant 2*, dari 4 *blower* yang terpasang hanya satu yang dioperasikan, dan di *Sewage Plant 3*, dari 4 *aerator* hanya 2 yang dioperasikan.

Tabel 4.9. Biaya Pemakaian Energi Listrik Per Hari Dari Kapasitas Terpasang

Unit	Komponen	Jumla	Listrik (KW)	Total (KW)	Harga KW/Thn	Biaya Listrik (Rp)/Thn
<i>Sewage 1</i>	motor+blowe	1	5,2	5,2	4,380,000	22.776.000
<i>Sewage 2</i>	blower	4	23,5	94		411.720.000
<i>Sewage 3</i>	aerator	4	20	80		350.400.000
Total				179,2		784.896.000

Sumber: Data Primer 2006

Tabel 4.10. Biaya Pemakaian Energi Listrik Per Hari Dari Kapasitas Terpakai

Unit	Komponen	Jumla	Listrik (KW)	Total (KW)	Harga KW/Thn	Biaya Listrik (Rp)/Thn
<i>Sewage 1</i>	motor+blowe	1	5,2	5,2	4,380,000	22.776.000
<i>Sewage 2</i>	blower	1	23,5	23,5		102.930.000
<i>Sewage 3</i>	aerator	2	20	40		175.200.000
Total				68,7		300.906.000

Sumber: Data Primer 2006

Walaupun sudah ada upaya penghematan pemakaian energi tetapi bel um dilakukan secara optimal. Dari hasil percobaan diketahui bahwa dengan sistem pengoperasian seperti sekarang ini, dua unit pengolah limbah saja sudah mampu mengolah seluruh air limbah yang masuk. Kualitas *effluent* masih memenuhi baku mutu nasional maupun daerah, adapun kualitas *effluent* secara detail dapat dilihat ditabel 4.11, 4.12, dan 4.13.

Tabel 4.11. Hasil Analisis Influent dan *Efluent* Pada Saat *Sewage Plant 1* dan *Sewage Plant 2* Dioperasikan dan Unit *Sewage Plant 3* Tidak Dioperasikan

Hari ke	Unit	pH		BOD ₅ mg/L		COD mg/L		TSS mg/L		NH ₃ -N mg/L	
		In	Out	In	Out	In	Out	Out	In	In	Out
6 9/10/06	S 1	7,1	7,25	33	2.2	69	11	50	30	7,4	0,8
	S 2	7,13	7,23	33	1.6	72	13	7	4	14,45	0,23
9 12/10/06	S 1	7,84	7,32	32	0.8	109	92	38	10	7.20	0.99
	S 2	7,12	7,43	31	0.7	67	72	29	5	9,5	2,51
12 15/10/06	S 1	7,11	7,37	50	4	89	18	16	4	7,55	0,17
	S 2	7,11	7.04	35	1.4	78	19	20	1	9,6	0,27

Tabel 4.12. Hasil Analisis Influent dan Efluent Pada Saat dan Sewage Plant 2 dan Sewage Plant 3 Dioperasikan dan Unit Sewage Plant 1 Tidak Dioperasikan

Hari ke	Unit	pH		BOD ₅ mg/L		COD mg/L		TSS mg/L		NH ₃ -N mg/L	
		In	Out	In	Out	In	Out	Out	In	In	Out
6 23/10/06	S 2	7,38	7,62	25	2	58	6	26	7	11	1,26
	S 3	7,30	7,45	15	2	68	44	41	8	9,1	0,47
9 26/10/06	S 2	7,31	7,37	27	0.3	35	17	7	4	26,5	0,67
	S 3	7,07	7,25	38	0.4	77	23	30	8	12,2	2,67
12 29/10/06	S 2	8,34	7,03	40	3	81	16	29	21	7,9	2,54
	S 3	7,13	7,42	33	0.4	75	7	32	3	9,5	1,09

Keterangan: S1: Sewage Plant 1, S2: Sewage Plant 2, S3: Sewage Plant 3

Sumber: Data Primer 2006

Tabel 4.13. Hasil Analisis Influent dan Efluent Pada Saat dan Sewage Plant 1 dan Sewage Plant 3 Dioperasikan dan Unit Sewage Plant 2 Tidak Dioperasikan

Hari ke	Unit	pH		BOD ₅ mg/L		COD mg/L		TSS mg/L		NH ₃ -N mg/L	
		IN	Out	In	Out	In	Out	Out	In	In	Out
6 9/11/06	S1	6,92	7,19	33	0.4	56	15	55	25	5,5	2,23
	S3	7.04	7,07	30	0.6	60	12	6	4	9,4	1,05
9 12/11/06	S1	7,10	7,19	33	1.6	90	23	46	17	6,3	2,41
	S3	6,75	6,97	3	0.3	10	6	36	16	6,7	2,65
12 15/11/06	S1	6.96	7,07	48	4	58	25	19	17	5,75	1,34
	S3	6.97	7.04	33	1.2	74	13	17	6	6,3	Nil

Keterangan: S1: Sewage Plant 1, S2: Sewage Plant 2, S3: Sewage Plant 3

Sumber: Data Primer 2006

Pengaturan perbaikan prosedur operasi dengan hanya mengoperasikan dua unit saja, dapat menghemat pemakaian energi listrik sampai 58 %. Perhitungan penghematan biaya energi listrik yang didapatkan dengan pengoperasian dua unit saja dapat dilihat di Tabel 4.1 4.

Tabel 4.14. Efisiensi Dengan Pengoperasian 2 Unit

Unit	Listrik (KW)	Harga KW/Thn (Rp)	Biaya Listrik (Rp)/Thn	Biaya listrik Aktual (Rp)/Thn	Efisiensi (Rp)	Efisiensi (%)
1 & 2	28,7	4,380,000	125,706,000	300,906,000	175,200,00	58
1 & 3	45,2		197,976,000		102,930,00	34
2 & 3	63,5		278,130,000		22,776,000	8

Sumber: Data Primer 2006

Percobaan yang dilakukan sebenarnya belum maksimal. Secara perhitungan sebenarnya satu unit saja sudah mampu mengolah seluruh air limbah yang masuk. Percobaan dengan pengoperasian satu unit belum bisa dilaksanakan karena alasan teknis.

Besarnya penghematan listrik dengan pengurangan jumlah unit yang beroperasi dari 3 menjadi 2 adalah antara 45,552 – 350,400 KWH setara dengan antara Rp 22,776,000/tahun - 175,200,000/tahun

Berdasarkan evaluasi yang dilakukan, secara teknologi sistem pengolahan limbah cair di PT. Badak NGL masih memadai, baik untuk memenuhi baku mutu maupun untuk pertimbangan pemanfaatan limbah cair tersebut. Hanya saja, kehandalan proses perlu ditingkatkan. Ketersediaan alat ukur untuk laju alir, pH, DO perlu diperhatikan. Demikian pula, pemberian dosis klor pada pengolahan limbah perlu dikendalikan sesuai dengan laju alir keluaran, hal ini untuk menjamin proses klorinasi berlangsung dengan baik.

Metode klorinasi yang digunakan di unit *sewage plant 1* adalah dengan mengalirkan larutan *calcium hypochlorite* $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ yang ditampung dalam tangki klorinasi kemudian injeksi dilakukan langsung dengan mengalirkan larutan klorin tersebut secara langsung kedalam saluran *effluent*, besarnya jumlah larutan yang akan diinjeksikan ditentukan dengan mengatur bukaan valve secara manual.

Metode klorinasi yang digunakan di unit *sewage plant* 2 dan 3 lebih kurang bagus lagi, dimana klorinasi dilakukan dengan mengalirkan air ke dalam bak yang berisi *calcium hypochlorite* $\text{Ca}(\text{OCI})_2$ kemudian aliran air yang mengandung klorin tersebut dialirkan ke aliran *effluent*. Di *sawage* 3 ada saluran zig-zag untuk memperlama waktu kontak antara klorin dengan mikroorganisme, sedangkan di *sewage plant* 2 tidak ada. Kelemahan dari seluruh sistem klorinasi yang ada tersebut adalah pemakaian dan pengendalian konsentrasi klorin kurang optimal, seperti dapat dilihat di tabel 4.15, dimana mayoritas konsentrasi klorin dalam *effluent* selalu diluar spesifikasi yang ditetapkan yaitu antara 1 -2 mg/L. Dan khusus untuk sistem klorinasi di *sawage* 1 dan 2 karena tidak ada saluran zig-zag maka homogenitas kandungan klorin dalam *effluent* dan rentang waktu kontak antara klorin dengan mikroorganisme *patogen* (30 menit) dalam *effluent* kurang terjamin.

Tabel 4.15. Konsentrasi Klorin Bebas *Effluent Sewage Plant* 1/2/3

Hari ke	<i>Sewage</i> 1	<i>Sewage</i> 2	<i>Sewage</i> 3
1	2,5	2,3	0,4
2	1,1	1,7	1,5
3	1,3	0,9	1,2
4	0,4	0,5	0,3
5	0,6	1,1	0,2
6	0,2	0,4	0,5
7	0,1	0,7	0,1
8	1,3	0,4	0,1
9	1,5	0,2	1,4
10	1,4	1,4	1,0
11	1,1	1,1	0,8
12	0,4	0,4	0,9
Rata-rata	1,0	0,9	0,8
Spesifikasi	1 -2 mg/L		
% off spec.	50 %	67 %	67 %

Sumber: Data Primer 2006

Biaya pengoperasian unit klorinasi relatif mahal, disamping itu jika konsentrasi klorin dalam efluent kurang terkontrol secara optimal bisa menimbulkan dampak yang cukup berbahaya. Jika konsentrasi klorin kurang maka bakteri patogen akan lolos masuk ke badan air, sedangkan jika terlalu besar maka klorin tersebut akan mencemari lingkungan.

Tabel 4.16. Biaya Proses Klorinasi Per Tahun

Unit	Pemakaian $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ /Tahun (Kg)	Harga/Kg (Rp)	Biaya/Tahun (Rp)
<i>Sewage 1</i>	1642,5	23,300	38,270,250
<i>Sewage 2</i>	1642,5		38,270,250
<i>Sewage 3</i>	2190		51,027,000
Total	5475		127,567,500

Sumber: Data Primer 2006

Untuk mendapatkan konsentrasi klorin bebas (Cl_2) sebesar 1 – 2 mg/L pada *effluent* yang mempunyai debit rata-rata 2,275,000 L/hari, maka jumlah $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ yang mengandung Cl_2 rata-rata 76 % (data dari laboratorium PT Badak NGL yang dibutuhkan adalah 3 – 6 Kg $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ /hari atau 1095 – 2190 Kg $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ /tahun atau setara dengan Rp 25,513,500 – 51,027,000.

Besarnya inefisiensi pemakaian klorin adalah antara 3285 – 4380 Kg/tahun atau setara dengan antara Rp 76,540,500 – 102,054,000/tahun.

4.3.3. Reuse (pakai ulang/penggunaan kembali)

Tinjauan dari segi *Reduce* adalah dengan mengkaji ada tidaknya upaya pemanfaatan air limbah secara langsung tanpa melalui perlakuan fisika, kimia atau biologi.

Semua limbah cair yang akan diolah di WWTP #48 termasuk kategori limbah domestik. Dalam kategori ini termasuk air bekas mandi, bekas cuci pakaian, cuci perabot, bahan makanan, sampah dapur, dan juga

berasal dari rumah sakit. Air ini terkontaminasi patogen, bakteri, virus, sabun atau deterjen. Air ini dapat juga mengandung ekskreta yaitu tinja dan urin manusia. Ekskreta jauh lebih berbahaya karena banyak mengandung kuman patogen. Keberadaan kuman patogen harus benar-benar diwaspadai, karena dapat menimbulkan penyakit pada manusia. Karena sifat-sifat bahaya tersebut maka sejauh ini tidak ada upaya pemanfaatan limbah cair yang belum diolah di WWTP #48.

4.3.4. *Recycle* (daur ulang)

Tinjauan dari segi *Recycle* (daur ulang) mengkaji ada tidaknya upaya mendaur ulang limbah untuk memanfaatkan limbah dengan memrosesnya kembali ke proses semula melalui perlakuan fisika, kimia atau biologi.

Beberapa alternatif yang dapat diterapkan untuk pemanfaatan kembali *effluent* WWTP #48, antara lain untuk bahan baku air umpan boiler, air utilitas untuk keperluan pabrik, air pemadam kebakaran, pengairan lapangan golf, pengairan pertamanan dan pengendalian debu .

Limbah dari *Sewage Plant* 1/2/3 berpotensi untuk dimanfaatkan kembali sebagai bahan baku air umpan boiler. Kebutuhan air untuk *make-up* boiler di kilang PT Badak NGL sebesar 3692 m³/hari. Kebutuhan tersebut sebagian dapat dipenuhi dengan mengambil air limbah hasil olahan dari *Sewage Plant* 1/2/3 sebesar 2200 m³/hari. Apabila diasumsikan 80 % limbah ini dapat dimanfaatkan kembali untuk umpan boiler maka 48 % kebutuhan *make-up* air umpan boiler dapat terpenuhi tanpa penambahan dari sumber lainnya.

Karakteristik limbah keluaran *Sewage Plant* 1/2/3 dapat dilihat di tabel 4.17, sedangkan persyaratan untuk pemanfaatan air umpan boiler dapat dilihat di tabel 4.18.

Tabel 4.17. Kualitas *Efluent Sewage Plant 1/2/3*

Karakteristik	Sewage Plant 1 (mg/L)	Sewage Plant 2 (mg/L)	Sewage Plant 3 (mg/L)
Silika	30	10	0.7
Aluminium	5	0.1	0.01
Besi	1	0.3	0.05
Mangan	0.3	0.1	0.01
Kalsium	-	0.4	0.01
Magnesium	-	0.25	0.01
Amonia	0.1	0.1	0.1
Bicarbonate	170	120	48
Padatan terlarut	700	500	200
Tembaga	0.5	0.05	0.05
Seng	-	0.01	0.01
Kesadahan	350	1.0	0.07
Alkalinitas	350	100	40
pH	7,00 – 10,0	8,2 – 10,0	8,2 – 9,0
COD	5	5	1
Oksigen Terlarut	2.5	0.007	0.007
Padatan Tersuspensi	10	5	0.5

Sumber: Data sekunder (LAPI ITB 1998)

Dari data pada tabel 4.17 dapat dilihat bahwa BOD keluaran *Sewage Plant 1/2/3* sudah cukup rendah sehingga tidak lagi diperlukan pengolahan biologis tambahan. Kualitas *effluent* akan lebih bagus lagi dengan optimalisasi peralatan dari pengendalian proses di *Sewage Plant 1/2/3*.

Jumlah padatan tersuspensi terlihat masih terlalu besar sehingga akan diperlukan unit proses untuk mengurangi padatan tersuspensi hingga

mencapai 5 mg/l. Faktor lain yang juga penting adalah konsentrasi Ca, Mg, Si, Al, dan alkalinitas. Adanya padatan terlarut atau tersuspensi dapat menimbulkan kerak, sedimen, dan bahkan korosi pada perpipaan dan boiler.

Tabel 4.18. Kriteria Air Umpan Boiler

Karakteristik	Boiler Tekanan Rendah (mg/L)	Boiler Tekanan Sedang (mg/L)	Boiler Tekanan Tinggi (mg/L)
Silika	30	10	0.7
Aluminium	5	0.1	0.01
Besi	1	0.3	0.05
Mangan	0.3	0.1	0.01
Kalsium	-	0.4	0.01
Magnesium	-	0.25	0.01
Amonia	0.1	0.1	0.1
Bicarbonate	170	120	48
Padatan terlarut	700	500	200
Tembaga	0.5	0.05	0.05
Seng	-	0.01	0.01
Kesadahan	350	1.0	0.07
Alkalinitas	350	100	40
pH	7,00 – 10,0	8,2 – 10,0	8,2 – 9,0
COD	5	5	1
Oksigen Terlarut	2.5	0.007	0.007
Padatan Tersuspensi	10	5	0.5

Sumber: Data sekunder (LAPI ITB 1998)

Pemanfaatan kembali untuk *service water* dan pertamanan menuntut pemantauan yang ketat pada kandungan coliform agar tidak membahayakan kesehatan khususnya pekerja pabrik .

Air limbah yang diolah di *Sewage Plant 1/2/3* termasuk kategori limbah domestik. Dalam kategori ini termasuk air bekas mandi, bekas cuci pakaian, cuci perabot, bahan makanan, sampah dapur, dan juga berasal dari rumah sakit. Air ini terkontaminasi patogen, bakteri, virus, sabun atau deterjen. Air ini dapat juga mengandung ekskreta yaitu tinja dan urin manusia. Ekskreta jauh lebih berbahaya karena banyak mengandung kuman patogen. Walaupun telah dilakukan pengolahan biologis termasuk disinfeksi, namun adanya kontaminan mikroorganisme dan patogen yang lolos harus tetap diwaspadai.

Pengukuran *coliform*/100 ml air digunakan sebagai indikator kelompok mikrobiologis. Hal ini memang tidak terlalu tepat, tetapi bakteri ini paling ekonomis untuk kepentingan pemantauan. Unit disinfeksi yang beroperasi saat ini perlu ditinjau kembali kinerjanya, dan kandungan *coliform* perlu dimonitor secara teratur. Unit disinfeksi juga akan mengatasi masalah pertumbuhan mikrobiologi yang dapat menyumbat sistem perpipaan.

Tabel 4.19. Hasil Uji Mikrobiologi *Efluent Sewage 1/2/3*

Bulan	Sewage I		Sewage II		Sewage III	
	MPN Coliform/ 100ml	MPN <i>E. Coli</i> / 100 ml	MPN Coliform/ 100 ml	MPN <i>E. Coli</i> / 100 ml	MPN coliform/ 100 ml	MPN <i>E. Coli</i> / 100 ml
Juli	3900	0	4900	40	230	0
Desember	0	0	0	0	0	0
Batasan	10000	1	10000	1	10000	1

Sumber: Data sekunder (Anggraini 2005)

Dari Tabel 4.19, bisa dilihat kandungan bakteri *coliform effluent sewage* 1/2/3 masih dibawah baku mutu, sehingga *effluent* tersebut bisa digunakan untuk keperluan irigasi.

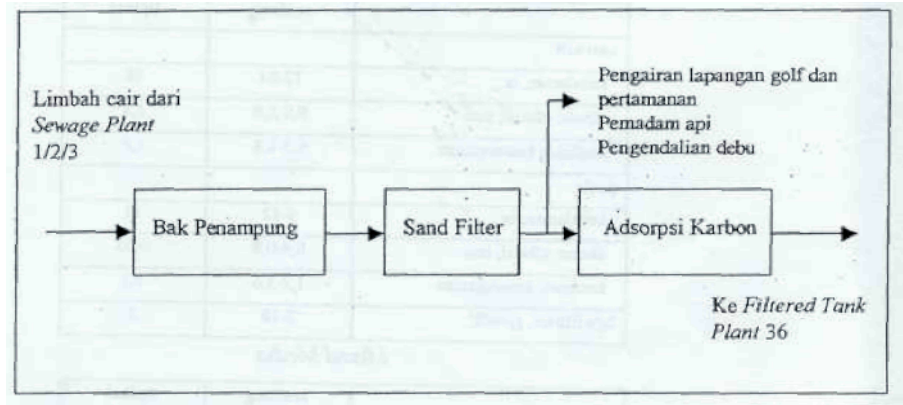
4.3. Perencanaan Perbaikan

Langkah-langkah yang dilakukan untuk meningkatkan efisiensi pemakaian air adalah:

1. Menghimbau penghuni untuk menghemat pemakaian air bersih dan mensosialisasikan arti penting penghematan pemakaian air sebagai bentuk partisipasi dalam mensukseskan program efisiensi perusahaan dan partisipasi dalam pembangunan yang berkelanjutan. Sosialisasi dapat dilakukan melalui media-media yang ada seperti media TV, majalah perusahaan, penyebaran pamflet atau pesan secara langsung. Agar usaha-usaha tersebut diatas lebih efektif maka perusahaan dapat memberikan penghargaan bagi penghuni yang dapat menekan pemakaian air dan memberikan teguran bagi penghuni yang menggunakan air secara berlebihan.
2. Menekan jumlah kebocoran air dengan cara secara berkala dilakukan inspeksi saluran distribusi dan kran air dan menghimbau penghuni untuk segera melaporkan bila melihat ada kebocoran saluran atau kran.
3. Merealisasikan upaya pemakaian kembali *effluent* WWTP #48.
 - Pemakaian *effluent* untuk irigasi, air pemadam api dan penyerap debu dapat dilakukan secara langsung.
 - Pemakaian sebagai air umpan boiler memerlukan kajian lebih lanjut seperti ketersediaan lahan, tata letak peraiaran, kebutuhan listrik dan utilitas lainnya, perpipaan, pompa dan lain -lain.

Sebelum menerapkan upaya pemanfaatan *effluent* WWTP #48, perlu dilakukan optimalisasi *Sewage Plant* 1/2/3. Untuk pemanfaatan tersebut, diperlukan proses filtrasi dan adsorpsi karbon sebelum

disimpan di dalam *filtered water tank* yang terdapat di *water treatment plant* #36. Diagram balok dari proses pengolahan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Proses Pengolahan *Efluent* Sewage 1/2/3 Sebagai Bahan Baku Air Umpam Boiler

Untuk mengatasi fluktuasi aliran *effluent*, perlu dibuat suatu bak penampung. Dari bak penampung, limbah hasil olahan kemudian disaring di dalam *filter* untuk mengurangi kandungan padatan tersuspensi dari 20 mg/L menjadi < 5 mg/L.

Kandungan organik yang masih terdapat di dalam limbah hasil olahan dapat dikurangi dengan proses adsorpsi karbon. Unit adsorpsi karbon juga akan melaksanakan proses deklorinasi yang dibutuhkan untuk memenuhi kualitas bahan baku air umpam boiler.

Untuk proses adsorpsi, filtrat dari *filter* masuk ke dalam tangki adsorpsi karbon. *Efluen* dari tangki ini dapat disimpan di dalam *filtered water tank* yang terdapat di *water treatment plant* #36 dan dapat dimanfaatkan untuk bahan baku air umpam boiler.

Langkah-langkah yang dilakukan untuk meningkatkan efisiensi pemakaian energi listrik adalah:

1. Optimalisasi kinerja WWTP #48 sehingga efisiensi pengolahan dapat ditingkatkan dan tidak ada penurunan kinerjanya seiring waktu. Langkah-langkah optimalisasi yaitu:

Dalam pengoperasian *Sewage Plant 1* yaitu:

- a. Menjalankan semua prosedur yang ada dengan konsisten. Pengukuran *return sludge* dan pengukuran jumlah lumpur yang akan dibuang yang selama ini ditinggalkan harus mulai dilakukan lagi .
- b. Memperbaiki alat pengukur laju alir, sehingga pengontrolan laju alir selama proses operasi bisa dilakukan dengan optimum.
- c. Memperbaiki *communitor*, sehingga semua kotoran yang masuk dapat dihancurkan waktu penguraian menjadi optimum.
- d. Melakukan perawatan berkala semua peralatan sehingga kinerjanya tidak menurun dan tidak mudah rusak.

Dalam pengoperasian *Sewage Plant 2* diantaranya adalah

- a. Memperbaiki alat pengukur laju alir, sehingga pengontrolan laju alir selama proses operasi bisa dilakukan dengan optimum.
- b. Melakukan pengukuran MLSS, SVI, DO seperti yang disarankan didalam prosedur, sehingga monitoring operasi dapat berjalan optimal.
- c. Melakukan pengembalian *return sludge* dan pembuangannya sesuai dengan prosedur operasi.
- d. Melakukan perawatan berkala semua peralatan sehingga kinerjanya tidak menurun dan tidak mudah rusak.

Dalam pengoperasian *Sewage Plant 3*

- a. Menyiapkan prosedur operasi yang baku, sehingga semua operator dapat melakukan pengoperasian dengan optimal.

- b. Mengatur penempatan aerator secara tepat sehingga beban pada bak maturasi tidak terlampau besar dan penumpukan lumpur dapat dihindari.
 - c. Melakukan perawatan berkala semua peralatan sehingga kinerjanya tidak menurun dan tidak mudah rusak.
2. Menyesuaikan kapasitas pengolahan unit dengan beban limbah yang masuk . Langkah-langkah yang dilakukan dengan melanjutkan uji coba lapangan yang pernah dilanjutkan yaitu dengan penambahan beban pengolahan dengan hanya mengoperasikan satu unit secara bergantian. Sementara tidak beroperasi dapat dilakukan perawatan atau perbaikan peralatan pada unit yang mengalami kerusakan.

Langkah-langkah yang dilakukan untuk meningkatkan efisiensi pemakaian klorin adalah:

1. Melakukan percobaan di laboratorium untuk mengetahui jumlah optimal klorin yang harus diinjeksikan ke *effluent*, karena spesifikasi klorin yang digunakan sekarang kisarannya sangat lebar yaitu 1 – 2 mg/L. Percobaan dilakukan dengan menentukan mulai pada konsentrasi berapa semua bakteri dalam *effluent* sudah mati semuanya.
2. Membuat ruang zig-zag di saluran *effluent sewage plant* 1 dan 2, untuk menjamin waktu kontak antara bakteri dan klorin cukup.
3. Menyiapkan prosedur operasi sistem injeksi klorin.
4. Menghimbau operator untuk mengoptimalkan monitoring operasi.
5. Mengganti sistem injeksi dengan *automatic dosing*, atau paling tidak seperti yang sekarang digunakan di *sewage plant* 1.

4.4. Rekomendasi

1. Uji coba pengoperasian unit pengolah limbah, sebaiknya dilanjutkan dengan hanya mencoba mengoperasikan satu unit saja, karena secara perhitungan satu unit akan mampu mengolah semua air limbah yang masuk. Dengan

hanya mengoperasikan satu unit maka efisiensi yang didapat akan semakin besar.

2. Kapasitas pengolahan WWTP #48 yang sisanya masih besar dapat dimanfaatkan untuk mengolah limbah cair domestik yang berasal dari pemukiman di sekitar kilang, sebagai salah satu bentuk implementasi *community development* perusahaan.
3. Sebaiknya perusahaan harus memberi perhatian yang sama antara pengelolaan lingkungan dan usaha inti, karena pengelolaan lingkungan juga memberi pengaruh yang nyata pada aspek efisiensi dan tingkat kompetisi.
4. Kisaran spesifikasi klorin yang ada sangat lebar yaitu 1 – 2 mg/L, sebaiknya dilakukan percobaan di laboratorium untuk mengetahui jumlah optimal klorin yang harus diinjeksikan ke *effluent*.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Faktor-faktor penyebab inefisiensi yaitu:
 - a. Inefisiensi pemakaian air disebabkan tingginya tingkat kebocoran air, pola konsumsi yang tidak hemat dan pemakaian air hanya berorientasi pada air tanah, belum ada upaya pemanfaatan kembali air *effluent* WWTP #48.
 - b. Inefisiensi energi listrik disebabkan WWTP #48 beroperasi jauh diatas beban limbah yang masuk. Walaupun beban limbah yang masuk hanya sekitar 5 – 15 % dibawah kapasitas desain, namun semua unit dioperasikan bersama-sama secara paralel.
 - c. Inefisiensi pemakaian klorin disebabkan disamping sistem klorinasi tidak efektif, pengoperasiannya juga kurang optimal. Walaupun jumlah pemakaian $\text{Ca}(\text{OCI})_2$ cukup besar, dimana secara perhitungan jumlahnya 60 – 133 % diatas kebutuhan, akan tetapi jumlah konsentrasi klorin yang memenuhi kisaran spesifikasi hanya antara 33 - 50 %.
2. Usaha-usaha yang dapat dilakukan untuk peningkatan efisiensi yaitu:
 - a. Peningkatan efisiensi air dapat dilakukan dengan perbaikan pola konsumsi, perbaikan saluran distribusi air dan merealisasikan upaya pemakaian kembali *effluent* WWTP #48.
 - b. Untuk meningkatkan efisiensi pemakaian energi listrik maka harus dilakukan optimalisasi kinerja WWTP #48 dan penyesuaian kapasitas pengolahan dengan beban limbah yang akan diolah, unit-unit tidak perlu dioperasikan semuanya secara paralel akan tetapi cukup dioperasikan satu saja secara bergantian
 - c. Untuk meningkatkan efisiensi pemakaian klorin maka jumlah klorin yang diinjeksikan harus optimal, dilakukan perbaikan sistem injeksi dan optimalisasi proses pengoperasiannya.

3. Besarnya peluang penghematan yang didapat dari penerapan produksi bersih dalam pengoperasian WWTP #48 adalah penghematan pemakaian air bersih sebesar 996,888,000 L/tahun setara dengan Rp 48,847,512/tahun, penghematan pemakaian energi listrik antara 45,552 – 350,400 KWH atau setara dengan antara Rp 22,776,000/tahun - 175,200,000/tahun dan penghematan pemakaian klorin antara 3285 – 4380 Kg/tahun atau setara dengan antara Rp 76,540,500 – 102,054,000/tahun

5.2. Saran

1. Uji coba pengoperasian unit pengolah limbah, sebaiknya dilanjutkan dengan hanya mencoba mengoperasikan satu unit saja, karena secara perhitungan satu unit akan mampu mengolah semua air limbah yang masuk. Dengan hanya mengoperasikan satu unit maka efisiensi yang didapat akan semakin besar.
2. Kapasitas pengolahan WWTP #48 yang sisanya masih besar dapat dimanfaatkan untuk mengolah limbah cair domestik yang berasal dari pemukiman di sekitar kilang, sebagai salah satu bentuk implementasi *community development* perusahaan.
3. Sebaiknya perusahaan harus memberi perhatian yang sama antara pengelolaan lingkungan dan usaha inti, karena pengelolaan lingkungan juga memberi pengaruh yang nyata pada aspek efisiensi dan tingkat kompetisi.
4. Kisaran spesifikasi klorin yang ada sangat lebar yaitu 1 – 2 mg/L, sebaiknya dilakukan percobaan di laboratorium untuk mengetahui jumlah optimal klorin yang harus diinjeksikan ke *effluent*.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G dan Sri Sumestri Santika, 1987. **Metode Penelitian Air**. Usaha Nasional, Surabaya.
- Anggraini, Tuti, 2005. **Evaluasi Kinerja WWTP #48 PT Badak NGL**, Bontang
- Cherymisinoff, Paul N, 1987. *Wastewater Treatment Pocket Handbook*. Pudvan Publishing Co. New York..
- Corbitt, 1992. *Wastewater Engineering*. Mc. Graw Hill Inc. New York.
- Eckenfelder Jr, W. Wesley, 1989. *Industrial Water Pollution Control*. Mc. Graw Hill Inc. New York.
- Hadi, Sudharto P, 2005. **Metodologi Penelitian Sosial : Kuantitatif, Kualitatif dan Kaji Tindak**. Bahan Kuliah : Program Magister Ilmu Lingkungan dan Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Metcalf & Eddy, 1991. *Wastewater Engineering*. Mc. Graw Hill Inc. New York.
- LAPI ITB, *Unit Pengelolaan Limbah Cair dari Perumahan dan dari Kilang (Laporan Final)*, Kerja Sama PT. Badak NGL – LAPI ITB. 1998
- Lagoon Systems Can Provide Low-Cost Wastewater Treatment*, Pipeline Vol. 8, No.2, 1997
- Materi Kursus Tentang Perencanaan Sistem Pengolahan Air Limbah*. PT. Badak NGL. Bontang. 1997
- Purwanto, 2006. **Materi Kuliah Produksi Bersih MIL UNDIP**, Semarang
- Purwanto, 2005. **Penerapan Produksi Bersih Di Kawasan Industri**: Seminar Penerapan Program Produksi Bersih, Asisten Standardisasi dan Teknologi, Jakarta 3 Juni 2005.
- Peraturan Pemerintah Kepala Daerah Tingkat I Kalimantan Timur** . 1988.
- Rencana Pemantauan Lingkungan Train H, PT Badak NGL**. Jakarta. 1998.
- Sax, N. Irving, 1974. *Industrial Pollution*. Van Nostrand Reinhold Co. New York .

Sudrajat, SU. **Analisis dan Pengelolaan Pencemaran Lingkungan**. Universitas Mulawarman. Samarinda. 2004

Sugiharto, **Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah VI**. Press. Jakarta.1987

Waste Water Management Fact Sheet, Energy Consesvation , United States Environmental Protection Agency.

Wardana, A.W, **Dampak Pencemaran Lingkungan** . Andi Offset. Yogyakarta. 1999