

## **KARAKTERISASI KONDISI OPERASI DAN OPTIMASI PROSES PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI PANGAN**

### **CHARACTERIZATION OF OPERATING CONDITIONS AND PROCESS OPTIMIZATION OF A FOOD INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT PLANT**

**Lintang Zulqaida Fitrahani\*, Nastiti Siswi Indrasti, dan Suprihatin,**

Department of Agro-Industrial Technology, Faculty of Agricultural Technology, Bogor Agricultural University  
IPB Darmaga Campus, PO Box 220, Bogor, West Java, Indonesia  
\*Email: [lintangzulqaida@yahoo.com](mailto:lintangzulqaida@yahoo.com) atau [suprihatin@indo.net.id](mailto:suprihatin@indo.net.id)

#### **ABSTRACT**

*Increased production in companies will result in the increase the load of the existing wastewater treatment plant. To anticipate the future increase in the COD load, it is in need to characterize dan optimize the existing wastewater treatment plant. Objectives of this research were characterization of operating conditions, measurement of performance as well as optimization of a food wastewater treatment plant to increase the effluent quality and minimize cost of operating cost. This study was conducted in a food industry in Jakarta. Characterization of the physical installations performed against all operation units that include the unit process physical, biological, and chemical processes. Performance evaluation was carried out using secondary and primary data covering  $NH_4^+$ , phosphate, nitrate, TSS, turbidity, temperature, pH, COD, MLSS, and DO. It was indentified that the biological stage was need to be optimizd especially in the nutrient addition. Almost all units there are differences between condition actual and design that lead to lower efficiencies. It was identified that the optimum nutrition added on Monday was 7 kg/day of urea, 26 kg/day of phosphate as well as 8 kg/day of nutrition liquid. The optimum nutrition added on Thursday was 32 kg/day urea, 45 kg/day phosphate and 8 kg/day nutrition liquid. By implementen these recommendations it can be expected a cost saving by 50%.*

*Keywords: food industry, nutrient addition, operating conditions, performance optimization*

#### **ABSTRAK**

*Peningkatan produksi pada industri pangan telah menyebabkan terjadinya peningkatan beban polutan air limbah yang dihasilkan, yang ditandai dengan peningkatan debit dan konsentrasi parameter kritis air limbah. Hal ini berakibat fasilitas pengolahan air limbah yang ada tidak bekerja secara optimum. Tujuan penelitian ini adalah karakterisasi kondisi operasi, pengukuran kinerja proses, serta optimasi proses IPAL (instalasi pengolahan air limbah) yang dimaksudkan untuk memperbaiki kualitas efluen dan meminimasi biaya operasi. Karakterisasi fisik instalasi dilakukan terhadap semua unit yang meliputi unit proses fisika, biologi, dan kimia. Pengukuran kinerja dilakukan dengan menggunakan data sekunder dan data primer terhadap  $NH_4^+$ , fosfat, nitrat, TSS, kekeruhan, suhu, pH, COD, MLSS, dan DO. Salah satu cara untuk meningkatkan kinerja IPAL yaitu dengan melakukan optimasi proses biologi dengan cara pengkajian ulang terhadap pemberian nutrisi. Hampir semua unit terdapat perbedaan antara kondisi aktual dan desain sehingga memiliki efisiensi yang rendah. Rekomendasi terbaik perhitungan nutrisi untuk hari Senin adalah urea 7 kg/hari, fosfat 26 kg/hari serta nutrisi liquid 8 kg/hari. Rekomendasi terbaik perhitungan nutrisi untuk hari Kamis adalah rekomendasi yang menghasilkan biaya paling rendah yaitu urea 32 kg/hari, fosfat 45 kg/hari serta nutrisi liquid 8 kg/hari. Implementasi dari rekomendasi tersebut dapat diperoleh penghematan biaya sebesar 50%.*

*Kata kunci: industri pangan, penambahan nutrient, kondisi operasi, optimasi kinerja*

#### **PENDAHULUAN**

Seiring dengan perkembangan industri, kontribusi pencemaran oleh industri mengalami peningkatan secara tajam. Di pulau Jawa, industri berkontribusi secara signifikan pada pencemaran, terutama di daerah perkotaan. Beberapa parameter pencemaran air telah melampaui baku mutu yang

ditetapkan oleh pemerintah. Hal ini memicu meningkatnya perhatian masyarakat dan pemerintah pada pencemaran lingkungan. Industri, termasuk industri pangan, saat ini dituntut untuk mengolah air limbah yang dihasilkan hingga memenuhi baku mutu sebelum dibuang ke lingkungan.

Pengolahan air limbah industri pangan umumnya dilakukan dengan menggunakan sistem lumpur aktif, karena sistem ini telah terbukti efektif untuk mengolah air limbah dengan kandungan utama bahan organik. Menurut Kristanto (2002), teknologi lumpur aktif mampu menurunkan total padatan tersuspensi (TSS) hingga 91%, COD (*chemical oxygen demand*) 62%, dan BOD<sub>5</sub> (*biochemical oxygen demand*) 97%.

Beban bahan organik (COD, BOD) air limbah yang makin besar menyebabkan penurunan kemampuan degradasi IPAL (instalasi pengolahan air limbah) yang ada, sehingga tingkat efisiensi pengolahan mengalami penurunan. Untuk mengantisipasi peningkatan beban bahan organik air limbah di masa yang akan datang, maka perlu dilakukan karakterisasi kondisi operasi dan optimasi proses pengolahan air limbah sehingga diperoleh tingkat efisiensi pengolahan yang tinggi.

Teknik optimasi yang dapat diterapkan pada suatu pengolahan limbah industri bersifat spesifik dan sangat tergantung pada karakteristik air limbah dan teknologi yang diterapkan. Pemberian nutrisi ini kadang-kadang perlu dilakukan karena komposisi air limbah tidak seimbang komposisinya. Penambahan nutrisi ini merupakan salah satu komponen biaya utama operasional. Oleh karena itu, salah satu cara untuk melakukan proses optimasi IPAL pada industri pangan adalah dengan cara melakukan optimasi dosis nutrisi karena nutrisi sering menjadi komponen biaya terbesar dalam pengolahan air limbah industri pangan. Optimasi dosis nutrisi ini berpotensi dapat menghemat biaya pengolahan air limbah pada tingkat degradasi bahan organik yang diinginkan guna mencapai target kualitas efluen sesuai baku mutu yang telah ditetapkan. Penelitian ini menyajikan hasil karakterisasi fisik dan kondisi operasi serta pengukuran kinerja suatu IPAL industri pangan, serta optimasi proses IPAL yang dimaksudkan untuk memperbaiki kualitas efluen dan meminimasi biaya operasi.

## METODE PENELITIAN

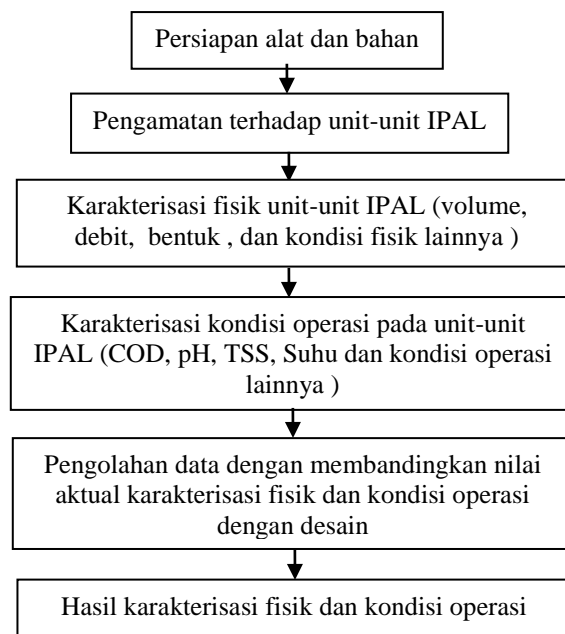
### Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Februari 2012 hingga bulan Mei 2012. Penelitian dilakukan pada IPAL PT. X Indonesia, yaitu industri pengolahan berbagai jenis makanan dan minuman, seperti kecap dan minuman tetrapax. Analisis laboratorium di Laboratorium Teknik Manajemen Lingkungan, Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB Bogor.

### Metode Penelitian

Penelitian ini terdiri atas beberapa bagian, yaitu persiapan bahan dan alat, karakterisasi fisik dan kondisi operasi IPAL, identifikasi kebutuhan perbaikan fisik dan kondisi operasi, penentuan

kinerja IPAL, optimasi IPAL, pengolahan dan analisis data. Karakterisasi fisik dan kondisi operasi dilakukan sebagai tahapan awal dalam penelitian, dengan melakukan observasi terhadap seluruh unit-unit IPAL sehingga diketahui karakterisasi fisik dan kondisi operasi (Gambar 1).

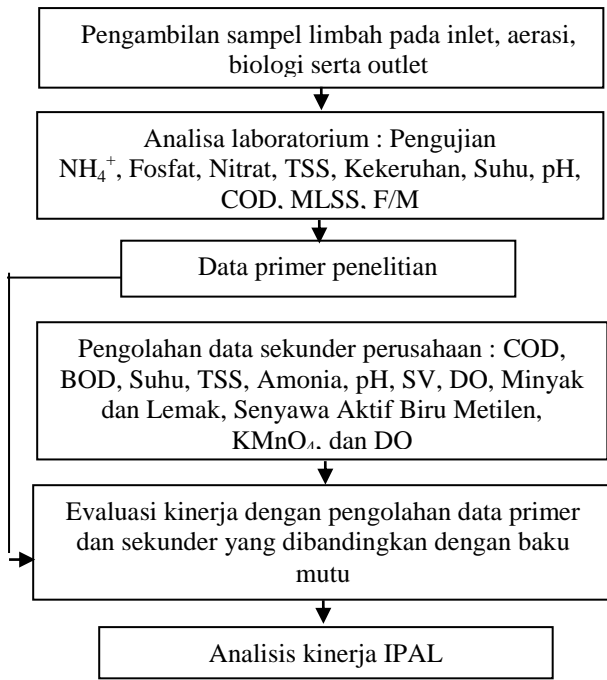


Gambar 1. Karakterisasi kondisi operasi IPAL

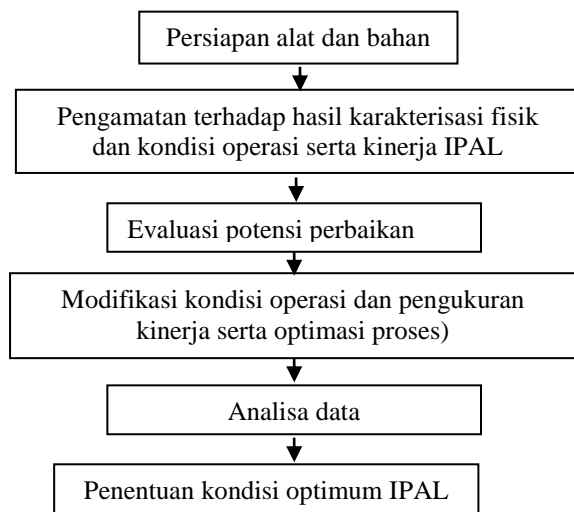
Penentuan kinerja IPAL dilakukan dengan melakukan pengamatan terhadap data primer dan data sekunder. Tahapan ini merupakan tahapan penelitian setelah karakterisasi fisik dan kondisi operasi. Pada tahap ini kinerja dari IPAL dapat diketahui berdasarkan parameter yang telah diamati (Gambar 2).

Optimasi IPAL merupakan tahapan akhir dari penelitian. Setelah dilakukan karakterisasi fisik dan kondisi operasi dilakukan identifikasi terhadap permasalahan dan potensi perbaikan IPAL. Tahapan yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3.

Karakterisasi kondisi operasi meliputi jenis operasi, dimensi, kondisi operasi serta parameter kinerja yang mendukung pelaksanaan penelitian optimasi proses pengolahan IPAL, khususnya untuk proses biologis. Untuk melakukan optimasi proses biologis khususnya optimasi dosis nutrisi terlebih dahulu dilakukan uji karakteristik limbah untuk mengetahui kandungan NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, fosfat, nitrat, TSS, kekeruhan, suhu, pH, COD, MLSS. Setelah diketahui kandungan senyawa organik dan lain-lainnya kemudian dilakukan perhitungan kebutuhan dosis nutrisi sampai menghasilkan efektivitas yang optimal untuk penurunan kandungan bahan organiknya.



Gambar 2. Prosedur penentuan kinerja IPAL



Gambar 3. Prosedur optimasi IPAL

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Sumber dan Karakteristik Air Limbah

Air limbah yang dihasilkan di PT. X Indonesia terdiri atas tiga jenis, yaitu:

1. Limbah hasil produksi yang berasal dari limbah hasil proses produksi seperti limbah hasil pengepresan pada kecap yang banyak mengandung nitrogen, dan bahan organik (Devi dan Dahiya, 2008).
2. Limbah domestik yang berasal dari kamar mandi dan kantin.
3. Limbah konsentrat yang mempunyai konsentrasi partikel terlarut lebih tinggi misalnya pada air limbah dari kegiatan analisis laboratorium, penelitian dan pengembangan, air limbah dari kegiatan pembuatan varian baru. Limbah konsentrat yang dimaksudkan adalah limbah pekat dengan TSS tinggi sehingga kandungan COD juga tinggi. Apabila dimasukkan ke dalam unit pengolahan limbah yang ada akan menyebabkan gangguan pada proses IPAL. Limbah separator mempunyai COD sekitar 200.000 mg/L. Limbah konsentrat ini sulit untuk ditangani sehingga membutuhkan proses yang kompleks sehingga membutuhkan biaya yang tinggi.

Hasil pengujian air limbah terhadap karakteristik inlet dan outlet PT. X Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1, mencakup kandungan nitrat, fosfat, COD, TSS, dan kekeruhan sampel yang diambil pada hari Kamis daripada hari Senin. Nilai parameter suhu tidak ada perbedaan secara signifikan antara inlet dan outlet, sedangkan nilai pH mengalami peningkatan mendekati normal. Nilai pH dan suhu air limbah yang diukur pada Senin tidak berbeda secara signifikan daripada air limbah yang diambil pada hari Kamis. Perbandingan nilai beberapa parameter inlet, outlet, dan baku mutu aku air limbah industri Jakarta sesuai Keputusan Gubernur Provinsi DKI Jakarta Nomor 582 Tahun 1995 disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian karakteristik air limbah (Periode 23 Februari – 29 Maret 2012)

No	Parameter	Satuan	Limbah Inlet		Limbah Outlet		Baku mutu (Kep Gub DKI No. 582/1995)
			Senin	Kamis	Senin	Kamis	
1	Nitrat	mg/L	14,43	18,83	1,66	1,67	-
2	Fosfat	mg/L	2,48	2,81	0,41	1,34	-
3	COD	mg/L	3.190	5.746	68	112	100
4	TSS	mg/L	693	706	3	6	100
5	Kekeruhan	FTU	472	713	25	35	-
6	pH	-	4,00-4,50	3,91-4,01	6,40	6,92	6 – 9
7	Suhu	°C	35,7	34,6	34,9	33,7	-



Pada reaktor dilakukan pengukuran parameter MLSS, DO, dan SV saat aerasi berlangsung. Kandungan MLSS yang tinggi ini berkaitan dengan jumlah biomassa. MLSS yang tinggi menunjukkan adanya jumlah mikroorganisme pada lumpur aktif yang tinggi, yang mampu memperbanyak diri dengan memanfaatkan bahan organik dan nutrisi yang terdapat pada limbah. SV (*Sludge volume*) diukur selama 60 menit sehingga disebut SV 60. Nilai rata-rata hasil pengujian terhadap parameter tersebut disajikan pada Tabel 2. Parameter SV 60 ini dipengaruhi oleh keadaan lumpur aktif. Selama pengamatan keadaan SV 60 pada hari Senin dan Kamis tidak jauh berbeda yakni 95%. SV bernilai 95% menandakan kemampuan pengendapan lumpur adalah sebesar 5% dari 1000 ml sampel. Kemampuan pengendapan lumpur ini sangat rendah. Kondisi lumpur selama pengamatan sama yang ditunjukkan dengan nilai SV hari Senin dan Kamis yang tidak jauh berbeda.

Nilai MLSS pada hari Kamis lebih tinggi daripada hari Senin. Hal ini dipengaruhi oleh beban limbah pada hari tersebut. Beban limbah hari Kamis lebih besar daripada hari Senin. Dengan beban limbah yang besar maka kandungan bahan organik juga besar.

Tabel 2. Hasil pengujian karakteristik air limbah aerasi

Parameter	Satuan	Hari	
		Senin	Kamis
MLSS	mg/L	7070	9532
DO	mg/L	3,70	4,38
SV.60	%	95,50	95,25

## Karakterisasi Fisik dan Kondisi Operasi IPAL

### Pengolahan Fisika

Pra-pengendapan berfungsi sebagai alat pemisahan zat padat atau partikel-partikel yang ukurannya besar dengan menggunakan sekat. Di dalam pra-pengendapan ini didesain untuk menurunkan kandungan TSS sampai kurang dari 300 mg/L sehingga efisiensi dari pengolahan secara fisik ini dalam penurunan TSS khususnya adalah 70%.

Berdasarkan hasil pengujian TSS terhadap air limbah yang telah melewati pra-pengendapan memperlihatkan bahwa TSS lebih dari 30 mg/L bahkan ada yang mencapai 1000 mg/L. Hal ini menandakan bahwa efisiensi operasi pra-pengendapan rendah dan tidak sesuai dengan desain.

Tanki pengendapan (*clarifier*) yang ada berukuran 82 m<sup>3</sup> sebagai unit untuk memisahkan dan mengurangi padatan dan partikulat dalam air

(Nelson and Pade 2007). Efisiensi penurunan padatan terlarut didesain sebesar adalah 30 -70%. Hasil limbah yang keluar dari tanki pengendapan ini diharapkan mengandung TSS kurang dari 200 mg/L. Berdasarkan data hasil pengujian dapat dilihat bahwa TSS yang terkandung dalam air limbah masih tinggi, yaitu antara 200 – 1.320 mg/L. Perbaikan dapat dilakukan dengan melakukan pembersihan pada kemiringan (*slope*) dasar tanki pengendapan dan meningkatkan waktu pengendapan.

Tanki ekualisasi (*balance tank*) sebagai bak penyeimbang (tanki aliran rata-rata) dan untuk menghomogenkan air limbah yang masuk untuk memudahkan proses pengolahan selanjutnya. Laju aliran aktual tanki ekualisasi lebih besar dari flow desain sebelumnya sehingga terjadi kelebihan beban (*overload*). Agar tidak mengganggu proses pengolahan limbah, masalah ini perlu diatasi dengan peningkatan kapasitas dari tanki ekualisasi sehingga dapat menangani lebih banyak limbah yang dihasilkan.

Penambahan polimer dilakukan apabila TSS yang terukur pada Tanki ekualisasi lebih besar dari 1.000 mg/L. Apabila produksi yang dilakukan adalah minuman sari kacang hijau dan susu kedelai maka sering kali dalam tanki ekualisasi terdapat busa. Hal ini mengganggu dalam pengolahan sehingga dilakukan penambahan anti-busa (*antifoam*).

DAF (*Dissolved Air Floatation*) Tank pada IPAL telah mengalami perubahan fungsi dari flotasi menjadi bak sedimentasi. Filter pasir (*sand filter*) tidak difungsikan karena dianggap tidak perlu.

### Pengolahan Secara Biologis

Proses pengolahan secara biologis pada PT. X dilakukan dengan CSAS (*Cyclic Sequencing Aerobic System*). Proses CSAS ini terdapat tiga proses utama yakni aerasi, pengendapan (sedimentasi) dan pembuangan efluen (*effluent draw*). Efisiensi penyisihan COD secara aktual sekitar 95%.

Waktu tinggal hidraulik (*HRT/hydrolic retention time*) merupakan salah satu parameter di dalam proses ini. HRT adalah waktu rata-rata air limbah di dalam sistem tersebut, dan untuk proses lumpur aktif nilainya berbanding terbalik dengan laju pengenceran (D) (Tchobanoglous *et al.*, 2003). HRT dirancang pada 1,78 hari sedangkan HRT secara aktual adalah satu hari. Hal ini menandakan bahwa waktu tinggal air limbah lebih cepat daripada desain, sehingga pendegradasian bahan organik kurang efektif.

MLSS (*Mixed-liquor suspended solids*) adalah padatan tersuspensi di dalam tanki aerasi sistem lumpur aktif sebagai lumpur campuran. MLSS didesain pada 4.500 – 5.500 mg/L tetapi MLSS yang terukur secara aktual lebih dari 5.500

mg/L. Hal ini menandakan bahwa lumpur yang ada terlalu banyak sehingga tidak dapat mengendap secara efektif. Kandungan MLSS yang terlalu berlebihan ini dapat dicegah dengan jadwal pembuangan lumpur yang baik.

DO (*dissolved oxygen*) menunjukkan keberadaan oksigen di dalam air. DO yang terukur adalah 1,61 – 4,55 mg/L sedangkan DO rancangan adalah 2-3 mg/L. DO yang rendah menyebabkan pertumbuhan bakteri berfilamen, DO yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kondisi *bulking* yang serius (Guo *et al.*, 2010).

### Pengolahan Kimia

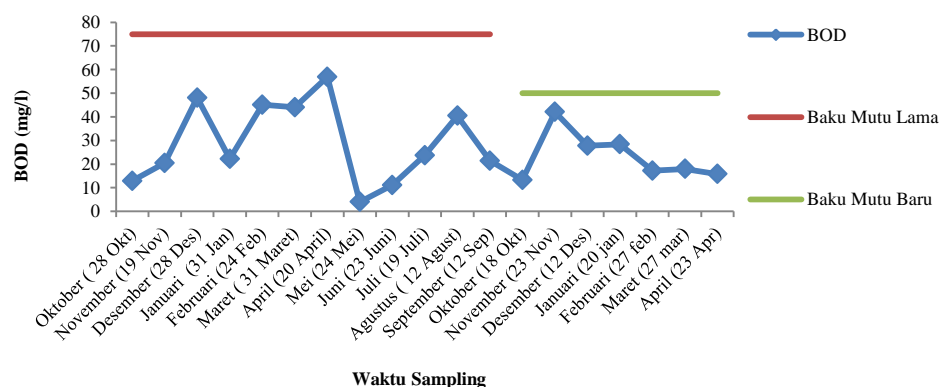
Pengolahan limbah secara kimia dalam PT. X dilakukan dengan cara tanki koagulasi dan flokulasi. Proses koagulasi dilakukan di dalam tanki koagulasi dengan volume 8,4 m<sup>3</sup> dengan penambahan PAC densitas 1,22 – 1,26 g/mL. PAC ditambahkan dengan laju 12 mL/detik. PAC menghasilkan proses koagulasi-flokulasi yang lebih baik bila dibandingkan dengan tawas (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) dalam beberapa kasus pengolahan air baku dari air sungai (Yang *et al.*, 2010). Koagulasi ini bertujuan untuk menghilangkan partikel di dalam air limbah yang berwujud koloid maupun tersuspensi. Pada proses flokulasi dilakukan di tanki bervolume 3 m<sup>3</sup>

dengan flokulan berupa polimer dengan debit 20 mL/detik. Polimer yang digunakan mempunyai dosis 1,5 g/L.

### **Karakteristik Air limbah**

#### BOD

Nilai BOD air limbah PT. X Indonesia dapat dilihat pada Gambar 4. Meningkatnya beban hidrolis menyebabkan mobilisasi partikel organik dan mengurangi waktu retensi sehingga mengakibatkan nilai BOD yang fluktuatif (Karathanasis *et al.*, 2003). Hal ini juga menunjukkan bahwa proses pendegradasian bahan organik belum berlangsung secara maksimum. Nilai BOD yang dihasilkan telah di bawah baku mutu yang ditetapkan. Pada periode bulan Oktober 2010 - September 2011 perusahaan mengacu baku mutu BOD 75 mg/L (Kep Gub DKI No. 582/1995). Sedangkan periode selanjutnya perusahaan mengacu pada baku mutu BOD 50 mg/L (Kep Gub DKI No. 122/2005). Kinerja IPAL tergolong baik karena nilai BOD outlet berada di bawah standar baku mutu yang berlaku, tidak stabil karena nilainya masih fluktuatif.



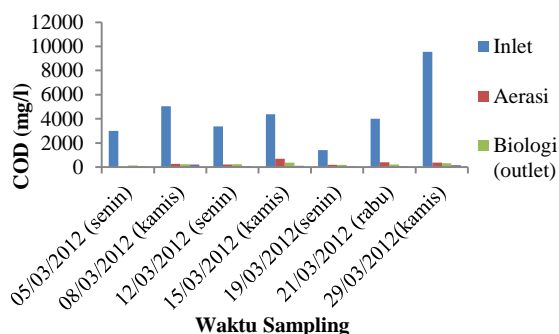
Gambar 4. Fluktuasi nilai BOD outlet periode Oktober 2010 – April 2012

### COD

Berdasarkan pengamatan COD bulan Maret 2012 didapatkan hasil COD dengan kisaran 1.401 – 9.549 mg/L pada *balance tank* (Gambar 5). Terjadi penurunan nilai COD selama proses sehingga dihasilkan nilai COD pada aerasi adalah 185 – 687 mg/L dan pada akhir proses biologi adalah 140 – 373 mg/L. Kisaran nilai COD outlet adalah 60 – 213 mg/L. Penurunan kadar COD selama proses aerasi sekitar 86,29 - 96,64%. Nilai penyisihan bahan organik ini cukup tinggi dalam pendegradasian bahan organik. Namun, efisiensi

proses biologi ini dapat ditingkatkan lagi. Penyisihan bahan organik selama proses awal hingga akhir memiliki efisiensi sebesar 95,65% - 98,41%. Efisiensi ini cukup besar sehingga proses pengolahan limbah dapat dikatakan efektif. Namun, apabila dilihat dari nilai COD outlet dengan dibandingkan dengan baku mutu masih terdapat nilai yang jauh melampaui baku mutu air limbah Jakarta yang diterapkan. Baku mutu yang berlaku sekarang adalah 80 mg/L. Proses pengolahan limbah harus ditingkatkan efisiensinya agar nilai COD yang dihasilkan di bawah baku mutu. Walaupun hasil pengujian penurunan COD tinggi

namun hasil akhir COD dalam limbah outlet ini masih cenderung berada di atas baku mutu atau mendekati baku mutu yang diterapkan.

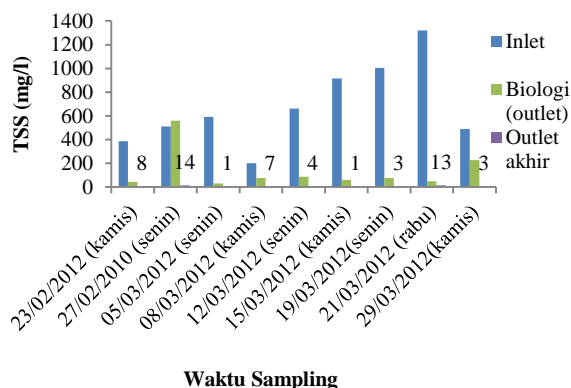


Gambar 5. Nilai COD Bulan Maret 2012

**TSS**

Hasil pengujian TSS dapat dilihat pada Gambar 6. Air limbah di dalam tanki ekualisasi memiliki nilai TSS cukup tinggi karena air limbah hanya mengalami proses fisik dan pencampuran di bak ekualisasi. Nilai TSS ini menurun setelah proses biologis (aerasi) berlangsung. Pengurangan TSS dapat dicapai 54% setelah aktivitas aerobik mesofilik pada lumpur aktif (Tyagi and Lo, 2012). Pengurangan TSS setelah proses biologis adalah lebih besar 62%. Kisaran nilai TSS pada akhir proses biologis adalah 30 – 558 mg/L. Nilai TSS pada tanggal 27 Februari mengalami kenaikan setelah proses biologis. Hal ini disebabkan oleh kondisi lumpur yang susah mengendap sehingga terbawa setelah proses aerasi berlangsung.

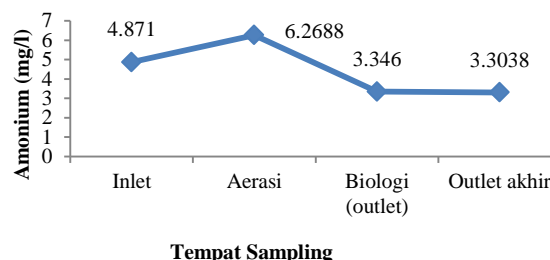
Efisiensi penyisihan TSS dalam pengolahan IPAL PT. X Indonesia adalah kurang dari 99%. Penyisihan TSS sebagian besar karena perlakuan fisik dan proses filtrasi dan umumnya tidak berpengaruh dengan aktivitas metabolik mikroba kecuali mungkin jika sebagian besar dari beban TSS organik (Karathanasis *et al.*, 2003). Limbah yang dikeluarkan oleh PT. X Indonesia telah memenuhi persyaratan baku mutu sesuai Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta Nomor 122 tahun 2005 sebesar 30 mg/L.



Gambar 6. Nilai TSS Bulan Maret 2012

**Amonium**

Hasil pengujian amonium rata-rata disajikan pada Gambar 7. Selama proses aerobik terjadi oksidasi  $NH_4^+$  menjadi  $NO_2^-$  dan  $NO_3^-$  sehingga kandungan amonium berkurang. Pada aerasi terjadi peningkatan nilai amonium yang disebabkan oleh masuknya limbah domestik dalam kolam aerasi tersebut. Limbah domestik yang masuk memiliki kandungan amonia yang tinggi. Setelah proses aerasi juga terjadi penurunan nilai amonium karena terjadi proses nitrifikasi. Penurunan penyisihan amonium ini dapat disebabkan oleh mikroorganisme yang tidak mendapat suplai oksigen dan makanan yang mencukupi (Widayat *et al.*, 2010). Efisiensi penyisihan nitrogen dapat dilakukan dengan mengendalikan DO (Guo *et al.*, 2010). Kinerja IPAL cukup baik karena amonium outlet berada di bawah baku mutu 10 mg/L.



Gambar 7. Nilai rata-rata amonium inlet, aerasi, biologis (outlet) dan outlet IPAL

**MLSS**

Nilai MLSS dan beban limbah disajikan pada Tabel 3. Berdasarkan data MLSS dan beban limbah COD dapat dilihat bahwa semakin besar beban COD maka semakin besar nilai MLSS. MLSS yang tinggi ini menandakan pembentukan bakteri dengan ditandai juga dengan perubahan warna suspensi menjadi lebih pekat (Romli *et al.*, 2004). Peningkatan beban limbah dari 420 kg COD/hari hingga 1.440 kg COD/hari menghasilkan peningkatan MLSS dari 4.626 mg/L hingga 9.477 mg/L. Sedangkan beban limbah yang lebih tinggi

Tabel 3. Nilai MLSS dan beban organik air limbah

Tanggal	MLSS (mg/L)	Beban organik (kg COD/hari)
23/02/2012 (kamis)	13.684	-
27/02/2010 (Senin)	6.539	1.500
05/03/2012 (Senin)	10.878	-
08/03/2012 (Kamis)	8.174	1.414
12/03/2012 (Senin)	6.238	1.008
15/03/2012 (Kamis)	6.793	1.315
19/03/2012 (Senin)	4.626	420
21/03/2012 (Rabu)	9.477	1.440

dari 1.440 kg COD/hari MLSS yang dihasilkan rendah yaitu 6.539 mg/L. Hal ini dijelaskan bahwa

apabila beban limbah terlalu tinggi terjadi dispersi lumpur yang tidak dapat terendapkan sehingga banyak massa sel yang terbangun bersama-sama efluen. Kondisi ini diperlihatkan dengan tingginya padatan tersuspensi di dalam efluen. Kinerja IPAL kurang baik karena nilai MLSS berada di atas nilai yang diinginkan oleh PT. X Indonesia.

### F/M

Hasil pengukuran F/M dan SV 60 disajikan pada Tabel 4. Rasio F/M fluktuatif dan berada jauh melebihi standar dengan rata-rata 1,99 kg COD/kg MLSS.hari. F/M IPAL tergolong sangat tinggi, yang mendidikasikan beban sistem sangat berat. Tingginya ratio F/M ini menyebabkan sistem kelebihan makanan yang dapat mengakibatkan menurunnya tingkat penyisihan bahan organik. Nilai F/M yang tinggi juga memicu masalah biomassa kamba (*bulking*).

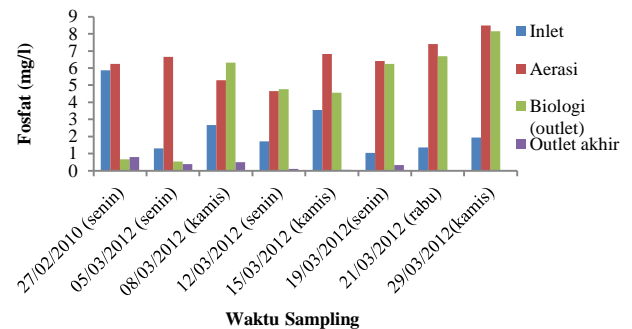
Tabel 4. Hasil pengujian nilai F/M

Tanggal	Nilai F/M (kg COD/kg MLSS.hari)	SV (%)
27/02/2010 (Senin)	3,59	95
05/03/2012 (Senin)	1,23	94
08/03/2012 (Kamis)	2,76	95
12/03/2012 (Senin)	2,35	96
15/03/2012 (Kamis)	2,77	96
19/03/2012 (Senin)	1,23	97
21/03/2012 (Rabu)	1,87	96
Rata-rata	1,99	96

### Fosfat

Konsentrasi fosfat hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 8. Konsentrasi fosfat ini meningkat pada proses aerasi. Kenaikan nilai fosfat saat aerasi antara 0,5 mg/L – 6,5 mg/L. Penyisihan fosfat dilakukan pada kondisi aerobik dengan terjadinya pemanfaatan ortofosfat untuk sintesis sel dan disimpan untuk kebutuhan di masa mendatang, bersamaan dengan penyisihan senyawa organik. Proses aerobik mampu menurunkan kandungan fosfat pada air limbah sekitar 10 - 30% (Tchobanoglous *et al.*, 2003). Namun, berdasarkan data proses aerasi ini meningkatkan kandungan fosfat sampai 400%. Hal ini karena diduga terjadi kelebihan penambahan nutrisi dan adanya penambahan senyawa fosfor dari limbah domestik. Selama proses aerobik terjadi penurunan kandungan fosfat. Hal ini disebabkan pada kondisi aerobik terjadi pemanfaatan ortofosfat untuk sintesis sel dan disimpan untuk kebutuhan di masa mendatang, bersamaan dengan penyisihan senyawa organik. Kandungan fosfat yang tinggi dalam badan air menyebabkan pertumbuhan makroalga, fitoplankton, zooplankton, dan koloni bakteri. Hal ini menyebabkan eutrofikasi yang diikuti oleh pertumbuhan alga (Steicke *et al.*, 2006). Hasil akhir

fosfat masih berada di atas 0,05 mg/L yakni batas adanya pertumbuhan ganggang (alga).



Gambar 8. Perubahan kandungan nilai fosfat air limbah bulan Maret 2012

### Perhitungan Dosis Nutrisi

Masalah yang teridentifikasi dalam pengolahan air limbah adalah penggunaan nutrisi saat pengolahan biologis yang belum optimal. Hal ini dilihat pada nilai F/M, SV, dan MLSS yang sangat tinggi. Fluktuasi nilai fosfat yang telah diuji juga menandakan pemberian nutrisi kurang tepat. Hal ini dapat menyebabkan kondisi biomassa kamba (*bulking sludge*). Kondisi ini mengindikasikan adanya defisiensi nutrisi. Masalah dosis nutrisi menyebabkan biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan tinggi serta pendegradasian senyawa organik dalam air limbah kurang sempurna.

Komposisi ideal untuk proses anerobik adalah COD:N:P = 200:5:1. Dengan mengetahui komposisi air limbah yang ada, maka dosis optimum penambahan nutrisi dapat diperkirakan. Tabel 5 menunjukkan kebutuhan nutrisi pada hari Senin. Berdasarkan pada nilai rata-rata COD:N:P, maka penambahan unsur hara adalah sebagai berikut: urea 7,02 kg/hari, fosfat 26,33 kg/hari serta nutrisi cair 8 kg/hari. Dosis nutrisi yang direkomendasikan pada hari Kamis agar biaya minimum adalah sebagai berikut: urea 32,10 kg/hari, fosfat 45 kg/hari serta nutrisi cair 8 kg/hari (Tabel 6). Rekomendasi ini berdasarkan perhitungan dengan rata-rata kandungan N dan P yang terkandung di dalam air limbah dan dengan asumsi perusahaan tetap ingin menggunakan nutrisi cair.

Tabel 5. Rekomendasi dosis nutrisi untuk Hari Senin

No	Urea (kg/Hari)	NPK (kg/Hari)	Nutrisi (kg/Hari)	Biaya (Rp)
1	2,35	13,04	4	168.335,-
2	15,65	13,04		110.835,-
3	26,23	13,04	8	411.720,-
4	52,83	13,04		296.725,-
5	7,02	26,33	8	348.912,-
6	34,22	26,33		236.912,-



Tabel 6. Rekomendasi Perhitungan Kebutuhan Nutrisi Hari Kamis

No	Urea (kg/Hari)	NPK (kg/Hari)	Nutrisi (kg/Hari)	Biaya (Rp)
1	22,96	38	8	457.820,-
2	9,67	38	12	515.325,-
3	49,57	38		342.825,-
4	39,50	52,1	8	575.873,-
5	26,20	52,1	12	633.378,-
6	66,10	52,1		460.878,-
7	32,10	45	8	520.975,-
8	18,80	45	12	578.480,-
9	58,70	45		405.980,-

Tabel 7 memperlihatkan biaya yang digunakan untuk proses biologis. Penurunan total biaya nutrisi berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan. Penurunan total biaya sekitar 50% dari total biaya pada bulan Januari 2012. Pada tabel tersebut dapat dilihat perbandingan antara biaya urea, NPK, dan nutrisi yang digunakan tiap bulannya.

Tabel 7. Biaya Proses Biologis

Bulan	Biaya NPK (Rp/bulan)	Biaya Urea (Rp/bulan)	Biaya Nutrisi (Rp/bulan)	Total Biaya (Rp/bulan)
Des '11	700.000	700.000	19.065.000	20.465.000
Jan '12	875.000	875.000	27.900.000	29.650.000
Rekomendasi	2.776.660	3.490.140	6.944.000	13.210.800

Sumber : PT. X Indonesia

## KESIMPULAN

Kondisi operasi aktual unit proses berbeda dengan kondisi operasi yang direncanakan (desain). Tanki ekualisasi (*balance tank*) dalam keadaan kelebihan beban (*overload*), sedangkan tanki flotasi (*DAF tank*) dan filter pasir (*sand filter*) tidak difungsikan. IPAL mempunyai kinerja yang baik untuk parameter pH, suhu, nitrat, TSS, kekeruhan, minyak dan lemak, senyawa aktif biru metilen, amonium,  $\text{KMnO}_4$ ; sedangkan kinerja yang kurang baik mencakup eliminasi BOD, fosfat, dan COD. Berdasarkan hasil penelitian ini direkomendasikan penambahan nutrisi untuk hari Senin adalah urea 7 kg/hari, fosfat 26 kg/hari serta nutrisi cair sebesar 8 kg/hari, sedangkan penambahan nutrisi untuk hari Kamis adalah urea 32 kg/hari, fosfat 45 kg/hari serta nutrisi cair sebesar 8 kg/hari. Dengan mengimplementasikan rekomendasi ini diharapkan dapat diperoleh penghematan biaya hingga 50%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Devi, R. & Dahiya, R. 2008. COD and BOD removal from domestic wastewater generated in desentralised sectors. *Bioresource Technology*, 99, 344-349.
- Guo, J.-H., Peng, Y.-Z., Peng, C.-Y., Wang, S.-Y., Chen, Y., Huang, H.-J. & Sun, Z.-R. 2010. Energy saving achieved by limited filamentous bulking sludge under low dissolved oxygen. *Bioresource Technology*, 101, 1120-1126.
- Karathanasis, A. D., Potter, C. L. & Coyne, M. S. 2003. Vegetation effects on fecal bacteria, BOD, and suspended solid removal in constructed wetlands treating domestic wastewater. *Ecological Engineering* 20, 157-169.
- Kristanto, P. 2002. *Ekologi Industri*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Nelson, R. L. & Pade, J. S. 2007. Aquaponic equipment the clarifier. *Aquaponics Journal* 4th Quarter.
- Romli, M., Suprihatin & Sulinda, D. 2004. Penentuan nilai parameter kinetika lumpur aktif untuk pengolahan air lindi sampah (leachate). *J.Tek.Ind. Pert*, Vol 14(2), 56-66.
- Steicke, C. R., Jegatheesan, V. & Zeng, C. 2006. *Recirculating aquaculture systems* [Online]. <http://www.eolss.net/SampleChapters/C07/E6-144-18.pdf>. [Accessed 27 Juni 2012].
- Tchobanoglous, G.. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4th ed*, Singapore, McGraw-Hill.Inc.
- Tyagi, V. K. & Lo, S.-L. 2012. Enhancement in mesophilic aerobic digestion of waste activated sludge by chemically assisted thermal pretreatment method. *Bioresource Technology* 119, 106-113.
- Widayat, W., Suprihatin & Herlambang, A. 2010. Penyisihan amoniak dalam upaya meningkatkan kualitas air baku PDAM-IPA Bojong Renged dengan proses biofiltrasi menggunakan plastik tipe sarang tawon. *JAI*, 6 (1), 64-76.
- Yang, Z., Gao, B. & Yue, Q. 2010. Coagulation performance and residual aluminium speciation of  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  and polyaluminium chloride (PAC) in Yellow River Water Treatment. *Chemical Engineering Journal*, 165, 122-132.