

OPTIMALISASI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) MENGUNAKAN GPS-X

OPTIMIZATION OF WASTEWATER TREATMENT PLANT (WWTP) USING GPS-X

¹Yuni Wahyuni Sah, ²Budi Santosa, ³Haryono Putro

¹Universitas Gunadarma, (yuniwahyunisah@gmail.com)

² Universitas Gunadarma, (bsantosa@staff.gunadarma.ac.id)

² Universitas Gunadarma, (haryono_putro@staff.gunadarma.ac.id)

Abstrak

IPAL Cimanggis berlokasi di Jakarta Timur yang bertujuan untuk meningkatkan layanan sanitasi masyarakat dan mengurangi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh air limbah perkotaan yang dibuang secara langsung ke badan air atau ke tanah. Tujuan utama dalam penelitian ini yaitu untuk mengevaluasi efisiensi pengolahan IPAL Cimanggis, selanjutnya dilakukan optimalisasi berdasarkan tiga model yang berbeda untuk meningkatkan efisiensi kinerja IPAL. Analisis laboratorium dan data historis digunakan sebagai data utama untuk memeriksa perilaku instalasi pengolahan. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu bahwa instalasi sudah bekerja dengan baik dalam pengurangan senyawa BOD₅, Ammonia, TKN, TN dan Total Alkalinitas. Sedangkan dalam penguraian senyawa TSS, COD dan TP sangat buruk dikarenakan hasil output masih melebihi batas standar baku mutu yang ditetapkan. Software GPS-X digunakan sebagai alat untuk mengoptimisasi IPAL. Hasil yang diperoleh setelah optimalisasi dilakukan dengan tiga model skenario yaitu, skenario pertama dengan penambahan unit saringan pada awal pengolahan dapat mengurangi senyawa TSS sebesar 83,27%, BOD₅ 6,27%, COD 40,33%, TN 8,90% dan 5,58%. skenario kedua dengan penambahan unit tangki anoxic bahwa persentase penguraian senyawa TSS sebesar 82,37%, BOD₅ 61,38%, COD 57,14%, Ammonia 0,19%, TKN 24,39%, TN 16,37% dan TP 23,34%. Skenario ketiga dengan menambahkan unit MBR menghasilkan output yang signifikan dalam mengurangi senyawa TSS sebesar 98,18%, BOD₅ 85,02%, COD 71,37%, Ammonia 82,45%, TKN 68,28%, TN 76,97% dan TP 42,32%.

Kata kunci: Optimasi, Instalasi Pengolahan Air Limbah, GPS-X

Abstract

The Cimanggis WWTP is located in East Jakarta and aims to improve community sanitation services and reduce environmental pollution caused by urban wastewater discharged directly into water bodies or onto the ground. The main objective of this research is to evaluate the processing efficiency of the Cimanggis WWTP, then optimization is carried out based on three different models to improve the efficiency of the WWTP performance. Laboratory analysis and historical data are used as the main data to examine the behavior of the treatment plant. The results obtained from this study are that the installation has worked well in reducing BOD₅, Ammonia, TKN, TN and Total Alkalinity compounds. Meanwhile, the decomposition of TSS, COD and TP compounds is very poor because the output still exceeds the specified quality standard. GPS-X software is used as a tool to optimize the WWTP. The results obtained after optimization were carried out with three scenario models, namely, the first scenario with the addition of a filter

unit at the beginning of processing can decompose TSS compounds by 83.27%, BOD5 6.27%, COD 40.33%, TN 8.90% and 55%. ,58%. the second scenario with the addition of an anoxic tank unit that the percentage of decomposition of TSS compounds is 82.37%, BOD5 61.38%, COD 57.14%, Ammonia 0.19%, TKN 24.39%, TN 16.37% and TP 23 ,34%. The third scenario by adding MBR units produces a significant output in reducing TSS compounds by 98.18%, BOD5 85.02%, COD 71.37%, Ammonia 82.45%, TKN 68.28%, TN 76.97% and TP 42.32%.

Keywords: Optimization, Wastewater Treatment Plant, GPS-X

PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk yang cepat, industrialisasi dan tren peningkatan pembangunan terkait dengan manufaktur, hal tersebut terkait dengan pengelolaan air limbah dan menjadi salah satu isu dalam menjamin kelestarian lingkungan saat ini. Air limbah domestik dan industri menyumbangkan sejumlah besar nutrisi dan bahan pencemar yang memiliki sejumlah efek antagonis pada badan air (Sorsa *et al.*, 2015). Hal ini selanjutnya mengakibatkan degradasi besar-besaran pada air permukaan dan air tanah dan menjadikannya berkualitas rendah jika digunakan untuk tujuan lain (Yohannes and Elias, 2017). Mengenai efek berbahaya terhadap lingkungan yang ditimbulkan dari air limbah perkotaan maupun industri cukup serius, maka perlu dilakukan pengolahan yang baik terhadap air limbah tersebut sebelum dibuang ke badan air, tanah atau sebelum digunakan kembali (Aghalari *et al.*, 2020). Berdasarkan Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Air dan Pengendalian Pencemaran Air bahwa setiap penanggungjawab usaha dan atau kegiatan yang membuang air limbah ke air atau sumber air wajib mencegah dan menanggulangi terjadinya pencemaran air. Meningkatkan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dapat memperbaiki kualitas unit pengolahan untuk mencapai hasil olahan yang lebih baik. Pada beberapa kasus, peningkatan sistem instalasi pengolahan air limbah dapat membantu memperbaiki kualitas hasil olahan dari air limbah, selain itu dapat mengurangi penggunaan energi dan meminimalkan biaya (El-Sheikh, 2011). Perencanaan penelitian

yang dilakukan yaitu mengevaluasi kinerja IPAL eksisting dengan cara melakukan pemodelan pada program simulasi GPS-X, kemudian melakukan optimasi berdasarkan dua model yaitu meningkatkan IPAL eksisting tanpa menambah unit pengolahan dan melakukan peningkatan sistem dengan menambahkan atau mengganti unit pengolahan pada IPAL eksisting.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) pada tahun 2020 dilaporkan limbah cair yang dihasilkan di DKI Jakarta sebesar 15.227 m³/hari. Jumlah limbah cair yang dihasilkan tersebut sebanyak 75% berasal dari air limbah domestik, 15% berasal dari perkantoran dan daerah komersil dan 10% dihasilkan oleh kegiatan industri. Pengolahan air limbah merupakan proses mengurangi kontaminan ke tingkat yang dapat diterima di mana air dapat dibuang kembali ke lingkungan dengan aman. Tujuan pengolahan air limbah adalah untuk menghilangkan organisme penyebab penyakit, menghindari polusi dan melindungi kesehatan masyarakat dan lingkungan (Caribbean Environmental Health Institute, 1998). Menurut (Haile, 2018) kualitas limbah yang lebih baik dapat dicapai dengan meningkatkan sistem dan mengatur ulang beberapa bagian pada instalasi pengolahan air limbah.

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang telah beroperasi selama beberapa tahun efisiensinya semakin berkurang, sehingga untuk mencapai kualitas hasil air limbah olahan yang sesuai standar yang ditetapkan akan sulit dicapai. Pentingnya optimalisasi pada IPAL yaitu untuk

pengendalian polusi yang berkesinambungan, dalam rangka memanfaatkan kembali hasil air limbah olahan, dan meningkatkan aliran air pada IPAL eksisting guna memperluas area pelayanan. Hasil olahan air limbah setelah melalui pengolahan yang tepat harus memenuhi standar kualitas nasional dan global supaya aman untuk pembuangan permukaan atau tanah (Haile, 2018).

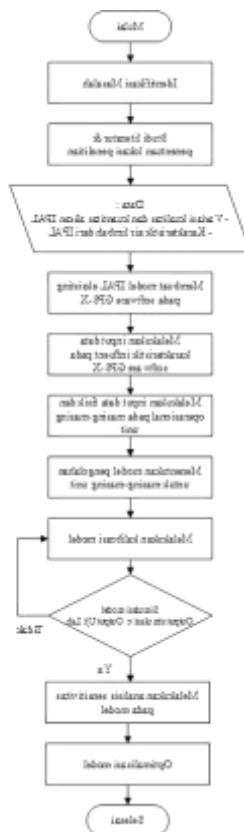
Kualitas air limbah domestik dapat dilihat dari karakteristik parameter yang terkandung di dalamnya. Cara mengetahuinya dengan melakukan uji laboratorium terhadap air limbah tersebut. Kandungan parameter dalam air limbah domestik menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 68 Tahun 2016 tentang baku mutu air limbah domestik yaitu terdiri dari pH, BOD, COD, TSS, lemak dan minyak, amonia total dan total koliform. Parameter baku mutu air limbah lain yang digunakan sebagai acuan dari penelitian ini yaitu menggunakan baku mutu yang

diterbitkan oleh WHO (Paul, 2011). GPS-X merupakan sebuah software pemodelan lingkungan multiguna yang memanfaatkan advanced user interface untuk melakukan simulasi plant-wide IPAL dengan cara memanfaatkan pemodelan matematika dinamis yang disimulasikan dari suatu proses biologis instalasi pengolahan air limbah. Model biologis yang terdapat di GPS-X diantaranya adalah ASM, ASM2d, ASM3, Mantis, New General, dan Mantis2 (Hydromantis, 2022).

Tujuan dalam penelitian ini yaitu untuk mengevaluasi efisiensi pengolahan IPAL Cimanggung, selanjutnya dilakukan optimalisasi berdasarkan tiga model yang berbeda untuk meningkatkan efisiensi kinerja IPAL.

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penulisan ini digambarkan seperti diagram alir di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tabel 1. Data Parameter Fisik dan Operasional Air Limbah

Parameter Fisik	Nilai	Satuan	Parameter Operasional	Nilai	Satuan	
Suhu	33,5	°C	Flow	300	m ³ /d	
Influent pH	7,27	-				
Number of tank	1	-	Aeration method	Diffused air		
Maximal volume	1000	m ³	Oxygen transfer	Entering airflow		
Tank depth	4	m	Air flow to aeration tank	20	m ³	
Local liquid temperature	20	°C	Grit production	20	mg/l	
			Dry solid	70	%	
Feed point from bottom	0,75	m	Underflow rate	20	m ³ /d	
Surface area	42	m ²	Pumped flow	50	m ³ /d	
Water depth	2,5	m	Sludge blanket	50	mgTSS/L	
Local temperature	20	°C	Critical height blanket	0,5	m	
Number of reactors	1	-	Aerated method	diffused air		
Tank depth	4	m	Oxygen transfer	using DO controller		
Volume setup method	individual volume		DO setpoint	100	mgO ₂ /L	
Individual volume	500	m ³	Pumped flow	25	m ³ /d	
Local temperature	20	°C	Pumped flow	20	m ³ /d	
Surface area	42	m ²				
Depth	2,5	m	Local liquid temperature	20	C	
Volume	30	m ³		pH in chlorine contact tank	7	-
				Bromin dosage	5	mg/L
				Total colioform count before disinfection	10000000	MPN/100mL
Local temperature	20	°C	Pumped flow	0	m ³ /d	
Surface area	40	m ²	Removal efficiency	70	%	
Water level (height)	2,5	m				
Maximum volume	300	m ³	-	-	-	
Headspace volume	20	m ³	-	-	-	
Local temperature	35	°C	-	-	-	
Temperature	35	°C	Solid removal	removal efficiency and underflow		
			Pumped flow	5	m ³ /d	
			Removal efficiency	70	%	
-	-	-	Flow data	295	m ³ /d	
-	-	-	Flow data	-	-	

Sumber: Laporan Teknis Kontraktor IPAL Cimanggis, 2021

Tabel 2. Rata-rata Karakteristik Air Limbah

arameter	Satuan	Inlet	Outlet
Temperatur	°C	33,50	27,07
Kekeruhan	NTU	15,40	8,90
TSS	mg/l	189,41	37,32
VSS	mg/l	137,67	31,49
DO	mg/l	0,34	7,33
cBOD5 at 20°C	mg/l	84,95	23,05
Total COD	mg/l	340,30	112,99
Soluble/ Filtered COD	mg/l	75,63	37,20
Ammonia Nitrogen	mgN/l	12,66	6,99
Total TKN	mgN/l	24,33	10,66
Filtered TKN	mgN/l	16,30	6,97
TN	mgN/l	25,03	14,88
TP	mgP/l	12,47	11,13
Total Alkalinity	mgCaCO ₃ /l	50,63	39,00
pH	pH unit	7,27	7,42

Sumber: Sudin SDA Jakarta Timur, 2021

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder. Data yang digunakan dibagi menjadi dua yaitu, pertama data kualitas dan kuantitas air limbah yang diperoleh dari Kantor Operator IPAL Cimanggis berdasarkan Laporan Teknis yang diterbitkan oleh Kontraktor Pelaksana. Data ini terdiri dari dua jenis parameter, yaitu parameter fisik dan parameter operasional. Kedua data karakteristik air limbah merupakan data historis yang diperoleh dari hasil uji laboratorium yang dilakukan secara rutin setiap bulan di IPAL Cimanggis. Data yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

GPS-X merupakan alat bantu yang digunakan dalam penelitian ini untuk melakukan optimasi pada IPAL eksisting. Metode optimasi menggunakan GPS-X yaitu dengan membuat model IPAL eksisting ke dalam software, kemudian input karakteristik influent pada model pada langkah ini user melakukan input pada Tab Influent Advisor terdiri dari 3 kolom diantara yaitu, kolom user inputs, kolom state variables dan kolom composite variables. Selanjutnya input data fisik dan operasional pada masing-masing unit pengolahan, Data yang digunakan pada proses

ini yaitu menggunakan parameter fisik dan operasional yang merupakan bagian dari data variasi kualitas dan kuantitas air limbah. Langkah selanjutnya setelah meng-input semua parameter fisik dan operasional pada masing-masing unit yaitu menentukan model pengolahan.

Pada tahap ini terbagi menjadi 2 langkah yaitu, menentukan model sistem pengolahan dan menentukan model unit pengolahan. Setelah data fisik dan operasional dilengkapi berdasarkan data yang tersedia berdasarkan pengukuran lapangan, hal yang dilakukan selanjutnya adalah mengalibrasikan model, data yang digunakan untuk kalibrasi model yaitu data historis dari hasil uji laboratorium yang dilakukan selama 3 (tiga bulan), nilai yang dikalibrasi yaitu nilai default dari GPS-X yang berada pada kolom User Input berupa komponen Influent Fractions dan Organic Fractions. Nilai tersebut disesuaikan dengan cara trial and error sampai didapatkan parameter nilai pada kolom Component Variables yang sedekat mungkin nilainya dengan data actual. Simulasi pada model dilakukan untuk mengetahui semirip apa data output yang dihasilkan dari model terhadap data actual, langkah ini akan terus dilakukan

secara berulang-ulang sampai hasilnya semirip mungkin. Hasil yang mirip antara output simulasi dengan output data aktual menggambarkan realitas dari keseluruhan sistem yang dibangun ke dalam software. Terakhir yaitu melakukan analisis sensitivitas terhadap model eksisting

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Input

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data variasi kualitas dan kuantitas air limbah, dan data karakteristik air limbah. Data variasi kualitas dan kuantitas air limbah dibagi menjadi dua kategori yaitu data parameter fisik dan data parameter operasional. Selanjutnya karakteristik air limbah juga digunakan sebagai data input dalam penelitian ini. Data karakteristik air limbah IPAL Cimanggis merupakan data historis yang diperoleh dari hasil uji laboratorium yang dilakukan selama 3 bulan. Data karakteristik air limbah yang diperoleh dari IPAL Cimanggis yang ditunjukkan oleh

tabel di atas kemudian dianalisis dan dihitung nilai rata-ratanya.

Berdasarkan Tabel 3. di atas, sebagian besar karakteristik influent air limbah di saluran inlet IPAL memiliki nilai yang tinggi dan melampaui batas standar yang ditetapkan. Parameter seperti Temperatur, TSS, VSS, DO, Total COD, dan TP memiliki nilai effluent yang masih melebihi batas standar sedangkan parameter lain seperti Keekeruhan, Ammonia Nitrogen, BOD₅, Total TKN, TN, Total Alkalinity dan pH masih dalam batas aman dari standar yang ditentukan.

Evaluasi Kinerja IPAL

Untuk mengetahui kinerja instalasi pengolahan air limbah, perlu melakukan perhitungan jumlah zat yang dikeluarkan dari sistem, hal itu dapat ditentukan dengan menghitung persentase yang dikeluarkan dari air baku untuk dijadikan konsentrasi limbah. Tabel 4. menunjukkan efisiensi penguraian senyawa yang dilakukan oleh IPAL Cimanggis.

Tabel 3. Rata-rata Nilai Karakteristik Air Limbah

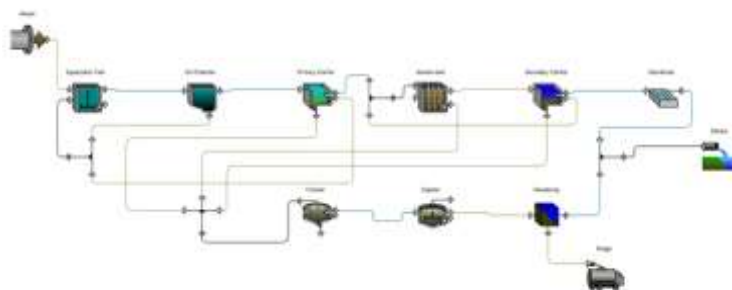
Parameter	Satuan	Inlet (Influent)	Outlet (Effluent)	WHO	BMAL	Keterangan
Temperatur	°C	33,50	27,07	< 25	-	Tidak Memenuhi
Kekeruhan	NTU	15,40	8,90	30	-	Memenuhi
TSS	mg/l	189,41	37,32	35	30	Tidak Memenuhi
VSS	mg/l	137,67	31,49	30	-	Tidak Memenuhi
DO	mg/l	0,34	7,33	> 10	-	Tidak Memenuhi
BOD ₅	mg/l	84,95	23,05	< 40	30	Memenuhi
Total COD	mg/l	340,30	112,99	120	100	Tidak Memenuhi
Ammonia Nitrogen	mgN/l	12,66	6,99	30	10	Memenuhi
Total TKN	mgN/l	24,33	10,66	25	-	Memenuhi
TN	mgN/l	25,03	14,88	60	-	Memenuhi
TP	mgP/l	12,47	11,13	10	-	Tidak Memenuhi
Total Alkalinity	mgCaCO ₃ /l	50,63	39,00	< 75	-	Memenuhi
pH	-	7,27	7,42	5 - 9	6 - 9	Memenuhi

Sumber: Hasil Analisis, 2022

Tabel 4. Efisiensi Pengolahan IPAL Cimanggis

Parameter	Satuan	Inlet (Influent)	Outlet (effluent)	Efisiensi (%)
Temperatur	°C	33,50	27,07	-
Kekeruhan	NTU	15,40	8,90	42,22
TSS	mg/l	189,41	37,32	80,30
VSS	mg/l	137,67	31,49	77,13
DO	mg/l	0,34	7,33	-
cBOD ₅	mg/l	84,95	23,05	72,87
Total COD	mg/l	340,30	112,99	66,80
Ammonia Nitrogen	mgN/l	12,66	6,99	44,75
Total TKN	mgN/l	24,33	10,66	56,21
TN	mgN/l	25,03	14,88	40,56
TP	mgP/l	12,47	11,13	10,70
Total Alkalinity	mgCaCO ₃ /l	50,63	39,00	22,98
pH	pH unit	7,27	7,42	-

Sumber: Hasil Analisis, 2022



Gambar 1. Model IPAL Cimanggis Menggunakan GPS-X

Optimalisasi IPAL Menggunakan GPS-X

Untuk mengoptimalkan sistem IPAL eksisting, software GPS-X digunakan untuk menilai kinerja IPAL dan mengoptimalkan sistem dalam mencapai kualitas air limbah olahan yang lebih baik dan masuk ke dalam batas aman standar yang ditentukan. Optimalisasi pada sistem dilakukan berdasarkan dengan data aktual yang tersedia.

Software GPS-X merupakan program yang dapat digunakan untuk melakukan pemodelan matematis, melakukan simulasi, optimalisasi dan pengelolaan IPAL dengan basis data unit proses yang komprehensif. Untuk melakukan hal tersebut maka langkah-langkah yang harus dilakukan akan dijelaskan pada subbab selanjutnya.

Pemodelan IPAL Eksisting Menggunakan GPS-X

Pemodelan dilakukan karena dengan membangun model memungkinkan mempelajari dan menganalisis pertanyaan teknik dalam periode waktu yang lebih singkat, mengurangi biaya dan menghemat tenaga. Langkah pertama yang harus dilakukan dalam melakukan optimalisasi pada IPAL yaitu membangun model IPAL ke dalam software. Gambar 1 di bawah ini menunjukkan model IPAL eksisting yang dimodelkan ke dalam software GPS-X. Berdasarkan gambar di atas, pemodelan IPAL Cimanggis ke dalam software disesuaikan berdasarkan unit yang ada di lapangan serta dilakukan sedikit penyesuaian berdasarkan sistem yang ada di software GPS-X.

Input Karakteristik Influent

Selanjutnya yaitu melakukan input nilai karakteristik influent ke dalam model tersebut.

Data input karakteristik influent merupakan data karakteristik air limbah seperti yang telah ditampilkan pada Tabel 4. Berdasarkan Tabel 4. nilai input karakteristik influent yang digunakan diantaranya yaitu total COD, total TKN, total Phosphorus dan Ammonia Nitrogen. Parameter tersebut merupakan senyawa yang digunakan sesuai dengan minat dalam pemodelan ini yaitu berdasarkan karbon, nitrogen, fosfor dan pH atau lebih dikenal dengan sebutan mantis2lib

Input Parameter Fisik Dan Operasional Unit Pengolahan

Langkah selanjutnya dalam pemodelan IPAL ke dalam GPS-X yaitu menginput nilai parameter fisik dan operasional pada masing-

masing unit pengolahan. Nilai input parameter fisik dan operasional pada masing-masing unit pengolahan dapat dilihat pada Tabel 1.

Pemilihan Model Operasi Unit Pengolahan

Berdasarkan tujuan pemodelan sistem yang menggunakan model mantis2lib, status kode diterapkan untuk seluruh sistem karena parameter COD adalah parameter dasar dalam memperkirakan parameter lainnya.

Pemilihan model untuk masing-masing unit berdasarkan data yang tersedia serta preferensi untuk perkiraan yang lebih baik dari kenyataan di lapangan.

Tabel 5. di bawah ini mendeskripsikan alasan penggunaan model pada masing-masing unit dalam penelitian ini.

Tabel 4. Nilai yang Digunakan pada Input Karakteristik Influent

Komponen	Kategori	Parameter	Simbol	Satuan	Nilai
User Input	Influent Composition	total COD	cod	gCOD/m ³	340,30
		total TKN	tkn	gN/ m ³	24,33
		total phosphorus	tp	gP/ m ³	12,47
		ammonia nitrogen	snh	gN/ m ³	12,66
Composite Variabels	Solid Variabels	total suspended solids	x	g/ m ³	189,41
		volatile suspended solids	vss	g/ m ³	137,67
	Organic Variabels	total cBOD5	bod	gO ₂ / m ³	84,95

Sumber: Hasil Analisa, 2022

Tabel 5. Model Unit Pengolahan

Unit Pengolahan	Jenis Model	Alasan
Influent	codstates	untuk menentukan parameter yang sesuai berdasarkan input nilai COD
Equalization tank	noreact	tangki berfungsi untuk menghomogenkan Influent untuk perawatan selanjutnya
Grit chamber	empiric	karena kurangnya data spesifik seperti penangkapan padatan, konsentrasi lumpur minimal untuk diproses dan fraksi organik dan nutrisi dari lumpur
Primary clarifier	simple1d	reaksi biologis dianggap terjadi dalam ekstensi kecil
Aeration tank	mantis2	merupakan penerus proses ASM2
Secondary clarifier	empiric	karena kurangnya data spesifik seperti penangkapan padatan, konsentrasi lumpur minimal untuk diproses dan fraksi organik dan nutrisi dari lumpur
Desinfectan	chlorination	merupakan penambahan zat kimia berupa klorin
Thickener	empiric	karena kurangnya data spesifik seperti penangkapan padatan, konsentrasi lumpur minimal untuk diproses dan fraksi organik dan nutrisi dari lumpur
Digester	mantis2	merupakan penerus proses ASM2
Dewatering	empiric	karena kurangnya data spesifik seperti penangkapan padatan, konsentrasi lumpur minimal untuk diproses dan fraksi organik dan nutrisi dari lumpur
Sludge	default	tidak ada pengolahan yang terjadi
Effluent	default	tidak ada pengolahan yang terjadi

Sumber: Hasil Analisa, 2022

Kalibrasi Model

Kalibrasi pada model dilakukan untuk memastikan estimasi parameter model agar sesuai dengan data aktual IPAL. Data yang digunakan untuk kalibrasi adalah data rata-rata karakteristik air limbah. Dalam program pemodelan GPS-X, terdapat variabel status yang dapat disesuaikan nilainya, dan variabel komposit (dihitung) yang tidak memerlukan input. Variabel komposit tidak memerlukan input karena sistem melakukan perhitungan sebagai pecahan dari nilai total COD yang dimasukkan pada variabel status. Tabel 6. menunjukkan nilai parameter pada tab user input yang telah dikalibrasi. Parameter VSS/TSS ratio (ivsstotss) apabila nilainya dirubah, maka parameter total suspended solids (x) pada composite variabels akan

menyesuaikan nilai yang diinput. Parameter particulate inert fraction of total COD (frxi) akan mempengaruhi nilai total BOD5 (bod), sedangkan parameter soluble inert fraction of total COD (frsi) dan biodegradable fractions of total COD (frss) apabila nilainya dirubah akan mempengaruhi nilai volatile suspended solids (vss). Tabel di bawah ini menunjukkan hasil dari kalibrasi yang dilakukan agar data Influent pada model nilainya mendekati nilai data Influent aktual IPAL.

Simulasi Model

Simulasi bertujuan untuk mengetahui seberapa mirip data output model dengan data output hasil uji laboratorium. Gambar di bawah ini menunjukkan hasil output simulasi dengan output dari hasil uji laboratorium.

Tabel 6. Nilai Parameter pada User Input Terkalibrasi

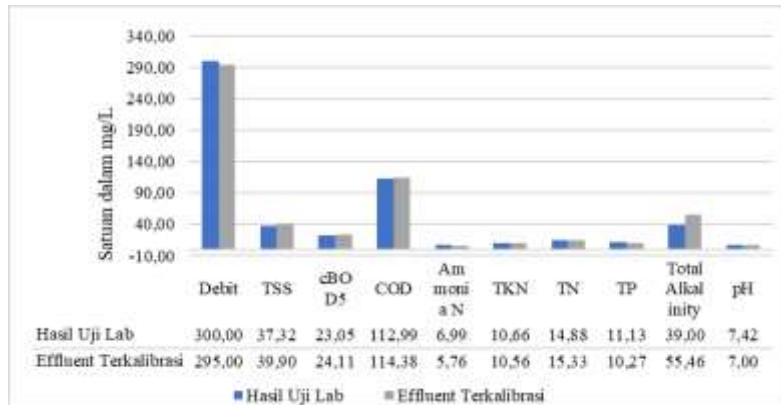
Komponen	Kategori	Parameter	Simbol	Nilai Default	Nilai Yang Disesuaikan
User Input	Influent fractions	VSS/TSS ratio	ivsstotss	0,75	0.7269
	Organic fractions	soluble inert fraction of total COD	frsi	0,05	0.081
		biodegradable fractions of total COD	frss	0,2	0.166
		particulate inert fraction of total COD	frxi	0,13	0.535

Sumber: Hasil Analisa, 2022

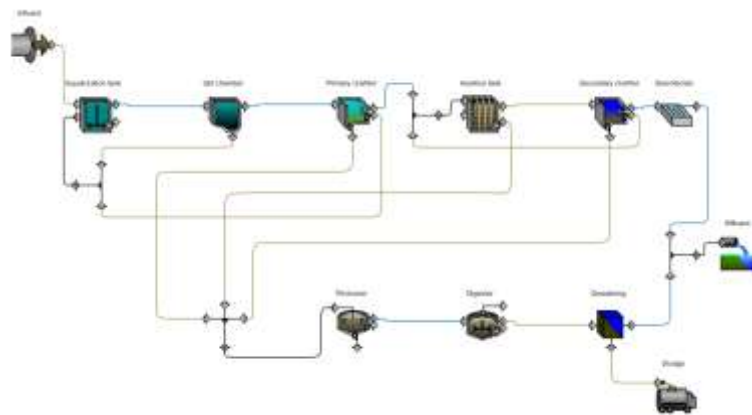
Tabel 7. Perbandingan Data Influent Aktual Terhadap Influent Model

Parameter	Satuan	Influent Hasil Uji Lab	Influent Kalibrasi Model
Debit	m ³ /d	300	300
TSS	mg/L	189,41	189,28
BOD ₅	mg/L	84,95	85,06
COD	mg/L	340,30	340,30
Ammonia N	mgN/L	12,66	12,66
TKN	mgN/L	24,33	24,33
TN	mgN/L	25,03	24,33
TP	mgP/L	12,47	12,47
Total Alkalinity	mgCaCO ₃ /L	50,63	50,69
pH	-	7,27	7,27

Sumber: Hasil Analisa, 2022



Gambar 2. Perbandingan Output Hasil Simulasi Terhadap Hasil Uji Lab



Gambar 3. Skema Model IPAL Cimanggis Menggunakan GPS-X

Berdasarkan gambar di atas, menunjukkan bahwa hasil output simulasi memiliki nilai yang berdekatan dengan hasil output yang diperoleh dari hasil uji laboratorium.

Parameter TSS, BOD5, COD, TN dan total alkalinity pada output simulasi model sistem lebih nilainya lebih tinggi dari hasil yang ditunjukkan berdasarkan output hasil uji laboratorium. Nilai tersebut masih dapat ditoleransi perbedaannya sesuai dengan literatur. Sedangkan untuk parameter ammonia nitrogen, TKN, TP dan pH menunjukkan nilai yang lebih bagus dari hasil output yang ditunjukkan oleh hasil uji laboratorium. Hal ini menunjukkan bahwa bagian kalibrasi model telah diselesaikan dengan baik.

Optimalisasi IPAL Eksisting Menggunakan GPS-X

Optimalisasi adalah sebuah proses yang dilakukan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dan ideal. Dalam hal instalasi pengolahan air limbah, seperti yang disebutkan di bagian literatur makalah ini, strategi optimalisasi bertujuan untuk memperbaiki hasil output dan memperbaiki kinerja sistem. Gambar di bawah ini merupakan skema dari IPAL Cimanggis yang telah dimodelkan ke dalam software GPS-X. Untuk mengoptimalkan sistem ini agar kinerja yang lebih baik, beberapa variabel dilakukan penambahan dan pengurangan nilainya yang kemudian diamati perubahannya. Berikut adalah tabel dari variabel yang dilakukan penyesuaian dalam optimalisasi IPAL eksisting.

Tabel 8. Variabel yang Dilakukan Optimalisasi

Target Variabel	Model	Optimalisasi Model
Primary clarifier Sludge blanket concentration	50 mg/l	20 mg/l
Air flow in the aeration tank	DO Controller	Entering airflow 12000 m ³ /d
Dewatering Removal efficiency	70%	95%

Sumber: Hasil Analisa, 2022

Tabel 9. Output Hasil Optimalisasi dan Standar Baku Air Limbah

Parameter	Satuan	Optimalisasi	WHO	BMAL	Keterangan
TSS	mg/L	6,86	35	30	Memenuhi
cBOD5	mg/L	21,33	< 40	30	Memenuhi
COD	mg/L	66,37	120	100	Memenuhi
Ammonia N	mgN/L	5,79	30	10	Memenuhi
TKN	mgN/L	8,11	25	-	Memenuhi
TN	mgN/L	12,87	60	-	Memenuhi
TP	mgP/L	9,69	10	-	Memenuhi
Total Alkalinity	mgCaCO ₃ /L	55,23	< 75	-	Memenuhi

Sumber: Hasil Analisa, 2022

Tabel di bawah ini menunjukkan hasil yang diperoleh dari nilai output optimalisasi terhadap standar baku air limbah

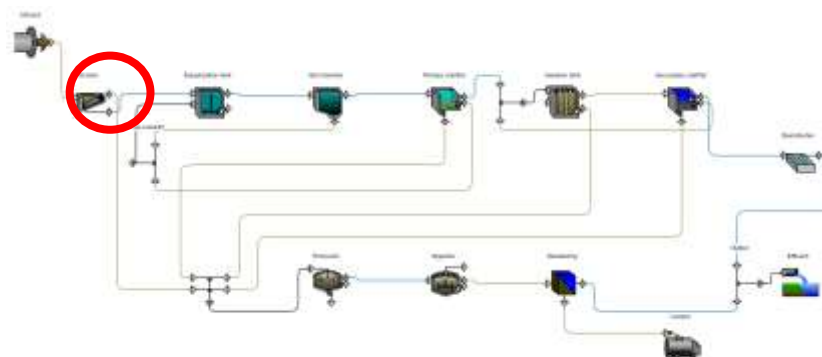
Upgrade Unit Pengolahan

Otimasi sistem pengolahan air limbah dengan menambahkan atau mengganti unit pengolahan diharapkan dapat memberikan hasil output air limbah olahan yang lebih baik dan sesuai dengan standar yang ditetapkan. Optimalisasi IPAL cimanggis yang menggunakan skenario upgrade unit dijelaskan pada subbab sebagai berikut.

Upgrade Unit Untuk Mengurangi Kadar Kekeruhan

Opsi utama dalam upgrade unit pada IPAL Cimanggis yaitu menambahkan unit saringan atau screen pada bagian awal pengolahan, lebih tepatnya diletakkan sebelum equalization tank.

Penambahan unit tersebut berguna untuk mengurangi parameter TSS pada hasil output air limbah. Skema sistem pengolahan IPAL setelah dilakukan penambahan unit screen ditunjukkan oleh gambar di bawah ini.

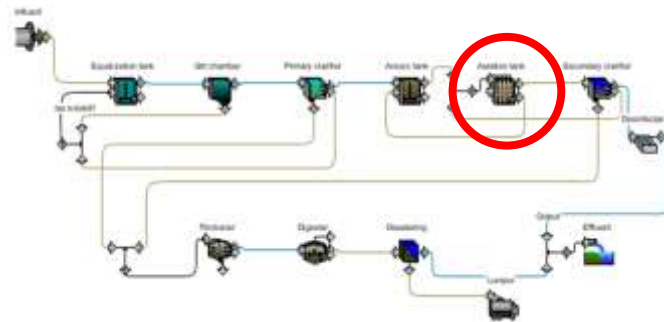


Gambar 4. Skema Pengolahan IPAL Cimanggis Dengan Tujuan Mengurangi Kekeruhan

Tabel 10. Output Hasil Upgrade Dengan Penambahan Unit Screen dan Standar Baku Air Limbah

Parameter	Satuan	Upgrade	WHO	BMAL	Keterangan
TSS	mg/L	6,67	35	30	Memenuhi
cBOD5	mg/L	23,07	< 40	30	Memenuhi
COD	mg/L	68,68	120	100	Memenuhi
Ammonia N	mgN/L	11,68	30	10	Memenuhi
TKN	mgN/L	13,95	25	-	Memenuhi
TN	mgN/L	13,97	60	-	Memenuhi
TP	mgP/L	9,70	10	-	Memenuhi
Total Alkalinity	mgCaCO ₃ /L	71,34	< 75	-	Memenuhi

Sumber: Hasil Analisis, 2022



Gambar 5. Skema Pengolahan IPAL Cimanggis dengan Penambahan Unit Tangki Anoxic

Tabel 11. Output Hasil Upgrade Dengan Penambahan Unit Tangki Anoxic dan Standar Baku Air Limbah

Parameter	Satuan	Upgrade	WHO	BMAL	Keterangan
TSS	mg/L	7,03	35	30	Memenuhi
cBOD5	mg/L	9,51	< 40	30	Memenuhi
COD	mg/L	49,33	120	100	Memenuhi
Ammonia N	mgN/L	5,74	30	10	Memenuhi
TKN	mgN/L	7,97	25	-	Memenuhi
TN	mgN/L	12,77	60	-	Memenuhi
TP	mgP/L	7,87	10	-	Memenuhi
Total Alkalinity	mgCaCO ₃ /L	59,44	< 75	-	Memenuhi

Sumber: Hasil Analisa, 2022

Tabel 10 menunjukkan hasil yang diperoleh dari nilai output optimalisasi terhadap standar baku air limbah. Optimalisasi dengan opsi penambahan unit saringan atau screen ini biaya perawatan dan pengoperasiannya rendah serta tidak memerlukan penambahan dosis kimia atau sistem pemompaan karena influen dapat

mengalir secara gravitasi ke unit filter dari atas tangki.

Upgrade Unit Dengan Sistem Hybrid Menggunakan Tangki Anoxic

Skema yang ditunjukkan oleh proses pengolahan air limbah di bawah ini mereduksi parameter COD, Ammonia dan fosfor. Sistem

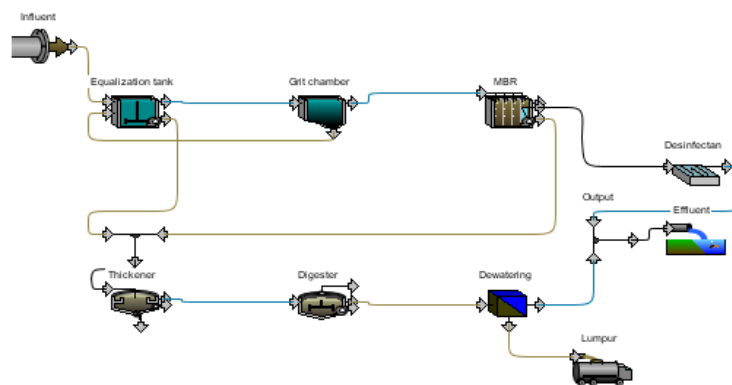
yang digunakan dalam pengolahan terdiri dari tangki anoxic dan tangki aerobik dengan sistem plugflow serta tangki secondary clarifier. Tabel 11 menunjukkan hasil yang diperoleh dari nilai output optimalisasi terhadap standar baku air limbah.

Mengganti Sistem Pengolahan Lumpur Aktif Menggunakan Teknologi MBR

MBR merupakan salah satu teknologi baru dimana dapat memisahkan air dari lumpur di dalam tangki aerasi, oleh sebab itu secondary clarifier tank tidak diperlukan. Reaktor MBR dapat digunakan untuk mereduksi nitrogen, TSS dan dapat memproduksi limbah dengan skala kecil. Pengolahan ini merupakan kombinasi antara

sistem lumpur aktif konvensional dengan membran mikro atau ultrafiltrasi untuk mempertahankan biomassa. hal ini menjadi salah satu alasan TSS dapat direduksi dengan baik.

Berdasarkan Gambar 6 yang menunjukkan perbandingan output IPAL eksisting dengan IPAL yang menggunakan MBR. Penurunan nilai parameter terjadi hampir di semua parameter yang ditargetkan, kecuali parameter total alkalinity yang mengalami kenaikan. Hasil output yang diperoleh setelah dilakukan simulasi selanjutnya dibandingkan dengan standar baku mutu air limbah. Berikut adalah tabel yang menunjukkan perbandingan hasil output terhadap baku mutu air limbah.



Gambar 6. Skema Pengolahan IPAL Cimanggis dengan Teknologi MBR

Tabel 12. Output Hasil Upgrade Dengan Penambahan Unit MBR dan Standar Baku Air Limbah

Parameter	Satuan	Upgrade	WHO	BMAL	Keterangan
TSS	mg/L	0,73	35	30	Memenuhi
cBOD5	mg/L	3,69	< 40	30	Memenuhi
COD	mg/L	32,95	120	100	Memenuhi
Ammonia N	mgN/L	1,01	30	10	Memenuhi
TKN	mgN/L	3,34	25	-	Memenuhi
TN	mgN/L	3,53	60	-	Memenuhi
TP	mgP/L	5,92	10	-	Memenuhi
Total Alkalinity	mgCaCO3/L	76,11	< 75	-	Memenuhi

Sumber: Hasil Analisi, 2022

SIMPULAN

Berdasarkan analisis terhadap kualitas air limbah yang telah dilakukan, diperoleh hasil pabrik sudah bekerja dengan baik dalam pengurangan senyawa BOD5, Ammonia, TKN, TN dan Total Alkalinitas. Sedangkan dalam penguraian senyawa TSS, COD dan TP sangat buruk dikarenakan hasil output masih di atas standar yang ditetapkan.

1. Untuk mengoptimalkan sistem, berbagai pendekatan untuk meningkatkan efisiensi dengan dan tanpa menambahkan unit dipertimbangkan. Opsi pertama adalah alert beberapa parameter pada sistem yang ada untuk mengurangi konsentrasi kekeruhan dan kadar COD. Dibandingkan dengan sistem yang ada, diamati penurunan TSS dan COD masing-masing sebesar 82,88% dan 42,85%. Untuk parameter lainnya efisiensi penguraian senyawa BOD5 sebesar 15,04%, senyawa TKN 17,27%, senyawa TN 17,05% dan TP 5,45%.
2. Dengan maksud meningkatkan pengolahan IPAL yang ada, selanjutnya menerapkan beberapa skenario yang berbeda. Berikut adalah hasil yang diperoleh dari skenario upgrade terhadap IPAL eksisting.
 - a. Menambahkan unit screen (saringan) di awal pengolahan diperoleh hasil yang lebih baik untuk meningkatkan reduksi terhadap padatan, dan hasilnya menjanjikan. Persentase efisiensi penguraian senyawa TSS sebesar 83,27%, BOD5 6,27%, COD 40,33%, TN 8,90% dan 5,58%.
 - b. Menambahkan unit tangki anoxic ke dalam sistem pengolahan eksisting diperoleh kesimpulan bahwa persentase penguraian senyawa TSS sebesar 82,37%, BOD5 61,38%, COD 57,14%, Ammonia 0,19%, TKN 24,39%, TN 16,37% dan TP 23,34%.

- c. Menambahkan unit MBR (Membran Bioreaktor) sebagai penggabungan teknologi antara sistem lumpur aktif yang ada menghasilkan output yang signifikan mengurangi konsentrasi senyawa TSS sebesar 98,18%, BOD5 85,02%, COD 71,37%, Ammonia 82,45%, TKN 68,28%, TN 76,97% dan TP 42,32%.

DAFTAR PUSTAKA

- Aghalari, Z. et al. (2020) 'Effectiveness of wastewater treatment systems in removing microbial agents: A systematic review', *Globalization and Health*, 16(1), pp. 1-11.
- Caribbean Environmental Health Institute. (1998). *Why Treat Wastewater: Environmental, Health and Legal Consideration*. Soufrière, St. Lucia: Ministry of Health.
- El-Sheikh, M. A. (2011) 'Optimization and Upgrading Wastewater Treatment Plants', *JES. Journal of Engineering Sciences*, 39(4).
- Haile, Y. T. (2018) 'Performance Evaluation and Optimization of An Industrial Wastewater Treatment Plant (Case study: Bahir Dar textile factory, Ethiopia)', Pan African University.
- Paul, W. (2011) 'Impact of Industrial Effluents on By a Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Award of Master of', pp. 1-68.
- Sorsa, S. et al. (2015) 'Heavy Metal Concentrations and Physicochemical Characteristics of Effluent along the Discharge Route from Hawassa Textile Factory, Ethiopia', *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*,
- Yohannes, H. and Elias, E. (2017) 'Contamination of Rivers and Water Reservoirs in and Around Addis Ababa City and Actions to Combat It', *Environment Pollution and Climate Change*, 01(02).