

TA/TL/2022/1451

**TUGAS AKHIR**

***BIOLOGICAL NUTRIENT REMOVAL DARI IPAL DOMESTIK  
MENGUNAKAN PROSES ANAEROBIC-ANOXIC-OXIC  
MELALUI PENDEKATAN MODEL SIMULASI  
MENGUNAKAN SOFTWARE STOAT***

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



**DINDA DWIANA INEMA  
18513144**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA YOGYAKARTA**

**2022**

## TUGAS AKHIR

### **BIOLOGICAL NUTRIENT REMOVAL DARI IPAL DOMESTIK MENGUNAKAN PROSES ANAEROBIC-ANOXIC-OXIC MELALUI PENDEKATAN MODEL SIMULASI MENGGUNAKAN SOFTWARE STOAT**

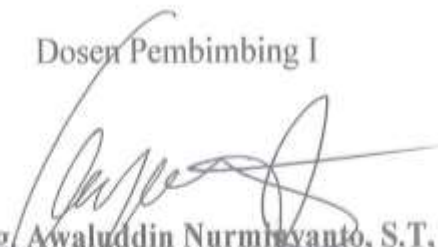
**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



**Disusun Oleh :  
Dinda Dwiana Inema  
18513144**

Disetujui,

Dosen Pembimbing I

  
**Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng**  
NIP 095130403

Tanggal : 13 JUNI 2022

Dosen Pembimbing II

  
**Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T**  
NIP 195130102

Tanggal : 13 JUNI 2022

Mengetahui,  
Kepala Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

  
**Eko Siswono S.T., M.Sc., M.Sc., Ph.D**  
NIP 025100406  
Tanggal : 13 JUNI 2022



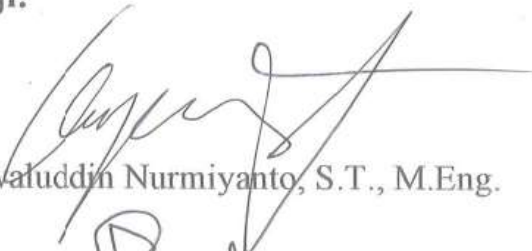
**HALAMAN PENGESAHAN**

***BIOLOGICAL NUTRIENT REMOVAL* DARI IPAL DOMESTIK  
MENGUNAKAN PROSES *ANAEROBIC-ANOXC-  
OXIC* MELALUI PENDEKATAN MODEL SIMULASI  
MENGUNAKAN *SOFTWARE* STOAT**

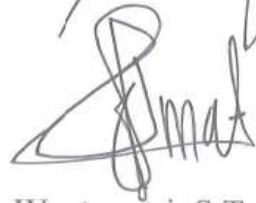
**Hari : Minggu  
Tanggal : 31 Mei 2022**

**Disusun Oleh :  
DINDA DWIANA INEMA  
18513144**

**Tim Penguji:**



Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng.



Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T.



Dr. Joni Aldila Fajri, S.T., M.Eng.

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan itian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 31 Mei 2022  
Yang membuat pernyataan,



**Dinda Dwiana Inema**  
NIM: 18513144

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah *subhananu wa ta'ala* yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “Simulasi Penyisihan Nutrien Pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Melalui Proses *Anaerobic-Anoxic-Oxic* (A2O) Ipal X Menggunakan *Software* STOAT” . Tugas akhir yang dilaksanakan sejak Desember 2021 memiliki banyak kekurangan dalam pengerjaannya. Tugas ini disusun dalam rangka memenuhi Tugas Akhir penyelesaian program sarjana pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini penulis diberikan dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih dengan tulus kepada :

1. Allah *subhananu wa ta'ala* berkat atas segala kebaikan, kemudahan, dan rahmat yang diberikan kepada penulis dalam melancarkan penelitian ini.
2. Keluarga penulis, Ayah Suwirman, Ibu Aswinek beserta Kakak penulis Raissa Pramudita Inema yang senantiasa memberikan dukungan baik secara moril maupun materil dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr.Eng Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing I yang selalu turut serta membersamai penyusunan Tugas Akhir dengan selalu memberikan bimbingan serta arahan selama penelitian ini berlangsung.
4. Ibu Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II yang memberikan dukungan, masukan dan bimbingan terhadap Tugas Akhir ini
5. Bapak Dr. Joni Adila Fajri, S.T, M.T selaku dosen penguji yang telah memberikan arahan dan masukan pada penelitian dan penyusunan Tugas Akhir ini
6. Endisa Maura Cantika selaku sahabat yang senantiasa selalu ada dan turut serta memberikan dukungan dan semangat selama penyusunan Tugas Akhir ini
7. Hanami, Farah, Aulia J, Aulia (mon), Aca, Maira, dan Khinta yang selalu berada di sisi penulis dan senantiasa memberikan dukungan positif selama penulis melakukan penelitian ini
8. Teman-teman satu topik Tugas Akhir, Dhita, Resti, Gita, dan Wiya yang saling membantu dalam melancarkan Tugas Akhir ini



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

الجامعة الإسلامية  
الاستدراكية

## ABSTRAK

DINDA DWIANA INEMA. *Biological Nutrient Removal* Dari IPAL Domestik Menggunakan Proses *Anaerobic-Anoxic-Oxic* Melalui Pendekatan Model Simulasi Menggunakan *Software* STOAT. Dibimbing oleh Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng dan Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T

Kandungan nitrogen dan fosfor pada air limbah memicu terjadinya peristiwa eutrikasi. Peristiwa ini timbul karena meningkatnya pertumbuhan alga dan tanaman air lain akibat tingginya konsentrasi nutrisi (Nitrogen dan Fosfor) di dalam air. Dampak yang ditimbulkan adalah penurunan kualitas air dan kematian terhadap makhluk hidup sekitar perairan. Konsentrasi nitrogen dan fosfor dalam air limbah domestik sangat bervariasi biasanya berada pada rentang 10-100 mg/l untuk nitrogen dan 5-25 mg/l untuk fosfor. Pada penelitian ini menggunakan teknologi *Activated Sludge* dan modifikasinya yaitu *Anaerobic Anoxic Oxic* (A2O) untuk menilai performa dalam menyisihkan kandungan TN dan TP di air limbah. Sekanrio penelitian yaitu merencanakan IPAL X secara manual terhadap kedua teknologi, kemudian melakukan simulasi menggunakan *Software* STOAT 5.0. Hasil performa penyisihan akan dianalisa dengan Analisa SWOT. Simulasi model STOAT 5.0 akan menunjukkan hasil persentase penyisihan untuk parameter TN dan TP dengan teknologi *Conventional Activated Sludge* adalah 25.45% dan 2.02%. Sedangkan dengan teknologi A2O mampu menyisihkan TN sebesar 78.43% dan TP sebesar 75.51%. Melalui analisa SWOT dapat dinilai bahwa teknologi A2O memiliki kualitas *effluent* yang lebih baik dibandingkan *Activated Sludge* dan berada di bawah Baku Mutu Air Limbah Domestik yang mengacu pada PerMen LHK no 68 Tahun 2016 dan *Guidelines* beberapa negara terkait syarat TN dan TP. A2O lebih baik dalam menyisihkan kandungan TN, khususnya kandungan TP dengan lebih signifikan dibandingkan *Activtaed Sludge*. Penurunan kandungan TN dan TP pada teknologi A2O disebabkan pengolahan menggunakan fase anaerobik-anoksik-oksik yang memicu terjadinya peristiwa nitrifikasi dan denitrifikasi sehingga menyisihkan TN dan adanya aktivitas organisme *Polyphosphate accumulating*



*organisms (PAOs) pada penyisihan TP.*

Kata Kunci : A2O, *Activated Sludge*, STOAT 5.0, Eutrofikasi, Perencanaan IPAL

## **ABSTRACT**

*DINDA DWIANA INEMA. Biological Nutrient Removal From Domestic WWTP Using Anaerobic-Anoxic-Oxic Process Through Simulation Model Using Software STOAT. Supervised by Dr. eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng and Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T.*

*The content of nitrogen and phosphorus in wastewater can caused eutrophication. This could occur due to the increased growth of algae and other aquatic plants because of the high concentration of nutrients (Nitrogen and Phosphorus) in the surface waters. The impacts are a decrease in water quality and the death of aquatic biota. The concentration of nitrogen and phosphorus in domestic wastewater varies widely, usually in the range of 10-100 mg/l for nitrogen and 5-25 mg/l for phosphorus. This study uses Activated Sludge technology and its modification, namely Anaerobic Anoxic Oxidation (A2O), to assess the performance of removing TN and TP content in domestic wastewater. The research scenario is to design WWTP X manually against both technologies, then perform them with a simulation using STOAT 5.0 Software. The results of the simulation will be analyzed using a SWOT analysis. STOAT 5.0 model simulation resulted in the percentage of TN and TP removal using Activated Sludge is about 25.45% and 2.02%. Meanwhile, A2O technology can reduce 78.43% of TN and 75.51% of TP. Through a SWOT analysis, it can be assessed that A2O technology has better effluent quality than Activated Sludge and it is below the Domestic Wastewater Quality Standard which refers to the Minister of Environment and Forestry Regulation No. 68 of 2016 and guidelines for several countries regarding TN and TP requirements. A2O is better in remove TN, especially for TP, which is significantly more than Activated Sludge. The decrease in TN and TP in A2O technology was caused by processing using the anaerobic-anoxic-oxic phase which triggers nitrification and denitrification events so that TN occurs and the activity of Polyphosphate accumulating organisms (PAOs) to remove TP in wastewater.*



Keyword: A2O, Activated Sludge, STOAT 5.0, Eutrophication, WWTP Designed

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
ABSTRAK .....	vii
<i>ABSTRACT</i> .....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
NOTASI DAN SINGKATAN .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Ruang Lingkup .....	3
1.5 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik.....	5
2.2 <i>Activated Sludge</i> Konvensional (CAS) .....	5
2.3 Anaerobic-Anoxic-Oxic (A2O).....	6
2.4 Perbandingan CAS dan A2O.....	8
2.5 Total Nitrogen dan Total Fosfor.....	9
2.6 Teknologi Pengolahan Air Limbah .....	10
2.7 Sewage Treatment Operation and Analysis over Time (STOAT) .....	12
2.8 Penelitian Terdahulu.....	12
BAB III METODE PENELITIAN.....	15
3.1 Metode Penelitian.....	15
3.2 Tahapan Penelitian .....	17
3.3.2 Secondary Treatment.....	22

3.3.2.1	<i>Activated Sludge Conventional</i> .....	22
3.3.2.2	Perhitungan Activated Sludge Metode A2O .....	25
3.3.2.4	Perhitungan Bak Pengendap Kedua .....	30
3.3.2.5	Perhitungan Tertiary Treatment .....	31
3.4	Karakteristik Air Limbah Domestik .....	32
3.5	Perencanaan IPAL X Melalui Pendekatan Simulasi Modelling .....	33
3.5.1	Skenario Pemodelan .....	33
3.5.2	Tahapan Simulasi Penyisihan Nutrien .....	35
3.6	Data Input STOAT .....	40
3.7	Analisa Strength, Weakness, Opportunities, Threats (SWOT) .....	45
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN .....	47
4.1	Proyeksi Penduduk .....	47
4.2	Debit Air Limbah .....	49
4.3	Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) .....	50
4.3.1	Beban Pengolahan .....	51
4.3.2	Hasil Perhitungan Manual .....	52
4.4	Hasil Pemodelan Penyisihan Nutrien .....	56
4.4.1	Skenario 1 .....	56
4.4.2	Skenario 2 .....	59
4.5	Perbandingan Hasil Simulasi Nutrient CAS vs A2O .....	62
4.6	Analisa SWOT IPAL X dengan Metode CAS vs A2O .....	68
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN .....	74
DAFTAR	PUSTAKA .....	76
LAMPIRAN	.....	79

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan Teknologi CAS dan A2O .....	8
Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu Modelling dan Perhitungan Manual .....	13
Tabel 3. 1 Kriteria Desain Bar Screen .....	18
Tabel 3. 2 Kriteria Desain Bak Ekualisasi .....	19
Tabel 3. 3 Kriteria Desain Pompa .....	20
Tabel 3. 4 Kriteria Desain Bak Activated Sudge Konvensional .....	23
Tabel 3. 5 Kriteria Desain Bak Anaerobik-Anoksik-Oksik (A2O).....	25
Tabel 3. 6 Kriteria Desain Bak Pengendap Kedua.....	30
Tabel 3. 7 Kriteria Desain Bak Klorinasi.....	31
Tabel 3. 8 Karakteristik Air Limbah .....	32
Tabel 3. 9 Baku Mutu TN dan TP Beberapa Negara .....	33
Tabel 3. 10 Data Pendukung Model STOAT .....	41
Tabel 3. 11 Data input Parameter STOAT.....	41
Tabel 3. 12 Data Input Bar screen.....	42
Tabel 3. 13 Data Input Bak Ekuliasasi.....	42
Tabel 3. 14 Data Input Bak Activated Sludge.....	43
Tabel 3. 15 Data Input Bak Anaerobic-Anoxic-Oxic .....	43
Tabel 3. 16 Data Input Bak Pengendap Sekunder Secara Umum.....	44
Tabel 3. 17 Data Input Bak Pengendap Sekunder khusus Activated Sludge.....	44
Tabel 3. 18 Data Input Bak Pengendap Sekunder khusus Activated Sludge.....	44
Tabel 3. 19 Data Input Bak Klorinasi .....	45
Tabel 3. 20 Matriks SWOT .....	46
Tabel 4. 1 Hasil Proyeksi Debit Air Limbah .....	50
Tabel 4. 2 Perbandingan Hasil Simulasi Skenario 1 dan Baku Mutu .....	59
Tabel 4. 4 Perbandingan Hasil Simulasi Skenario 2 .....	62
Tabel 4. 5 Identifikasi Faktor Internal dan Eksternal Skenario 1 .....	69
Tabel 4. 6 Identifikasi Faktor Internal dan Eksternal Skenario 2 .....	70
Tabel 4. 7 Analisa SWOT Skenario 1 IPAL X .....	71
Tabel 4. 8 Analisa SWOT Skenario 2 IPAL X .....	72

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema proses Activated Sludge Konvensional.....	6
Gambar 2.2 Gambar 2.2 Tahapan Aktivitas Mikroba dalam Bak Anaerobik .....	7
Gambar 2. 3 Skema proses Anaerobic Anoxic Oxic.....	8
Gambar 2. 4 Peristiwa Eutrofikasi di Perairan.....	10
Gambar 2. 5 Tahapan Pengolahan Air Limbah.....	11
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian .....	16
Gambar 3. 2 Alur Perhitungan Manual Bar Screen .....	19
Gambar 3. 3 Alur Perhitungan Manual Bak Ekualisasi dan Pompa .....	21
Gambar 3. 4 Diagram Proses Activated Sludge.....	22
Gambar 3. 5 Alur Perhitungan Manual Conventional Activated Sludge.....	24
Gambar 3. 6 Diagram Proses Anaerobic-Anoxic-Oxic (A2O).....	25
Gambar 3. 7 Alur Perhitungan Manual Anaerobic-Anoxic-oxic.....	29
Gambar 3. 8 Alur Perhitungan Manual Bak Sedimentasi Sekunder.....	30
Gambar 3. 9 Alur Perhitungan Manual Bak Klorinasi.....	31
Gambar 3. 10 Influent Pattern IPAL X pada STOAT 5.0.....	36
Gambar 3. 11 Jenis model skenario 1 pada STOAT 5.0.....	37
Gambar 3. 12 Jenis model skenario 2 pada STOAT 5.....	37
Gambar 3. 13 MLSS recycle data model ASAL5A pada STOAT 5.0 .....	38
Gambar 3. 14 Tahapan Pengerjaan Software STOAT .....	39
Gambar 3. 15 Layout IPAL X Menggunakan Activated Sludge Melalui STOAT .....	40
Gambar 4. 1 Grafik Perbandingan 3 Metode Proyeksi .....	48
Gambar 4. 2 Grafik Hasil Proyeksi Penduduk Daerah Pelayanan IPAL X .....	49
Gambar 4. 3 Diagram Pengolahan IPAL X Skenario 1 .....	50
Gambar 4. 4 Diagram Pengolahan IPAL X Skenario 2 .....	51
Gambar 4. 5 Diagram Alir Hasil Perhitungan Manual .....	55
Gambar 4. 6 Grafik Pnegolahan TN dan TP selama 48 Jam dengan CAS .....	556
Gambar 4. 7 Hasil Simulasi Model STOAT Skenario 1 .....	57
Gambar 4. 8 Grafik Pnegolahan TN dan TP selama 48 Jam dengan A2O .....	59
Gambar 4. 9 Hasil Simulasi Model STOAT Skenario 2.....	60
Gambar 4. 10 Diagram Alir Proses Nitrifikasi-Denitrifikasi.....	63
Gambar 4. 11 Profil Pengolahan TN dan TP pada A2O.....	65
Gambar 4. 12 Perbandingan Hasil Simulasi STOAT Skenario 1 dan 2 .....	66
Gambar 4. 13 Grafik Kuadran Analisa SWOT Skenario 1 dan 2 .....	71

## NOTASI DAN SINGKATAN

IPAL	= Instalasi pengolahan Air Limbah
STOAT	= <i>Sewage Treatment Operation and Analysis over Time</i>
A2O	= <i>Anaerobic Anoxic Oxic</i>
CAS	= <i>Conventional Activated Sludge</i>
SWOT	= <i>Strength Weakness Oppurtunities Treaths</i>
BOD	= <i>Biological Oxygen Demand</i>
COD	= <i>Chemical Oxygen Demand</i>
TSS	= <i>Total Suspended Solid</i>
NH <sub>4</sub>	= Amonia
PO <sub>4</sub>	= Fosfat
NO <sub>3</sub>	= Nitrat
TN	= Total Nitrogen
TP	= Total Fosfor
VSS	= <i>Volatile Suspended Solids</i>
ON	= Organik Nitrogen
VFA	= <i>Volatile fatty acids</i>
PerMen LHK	= Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan
RAS	= <i>Return Activated Sludge</i>
MLSS	= <i>Mixed Liquid Suspended Solid</i>
MLR	= <i>Mixed Liquor Recirculation</i>
WAS	= <i>Waste Activated Sludge</i>
HRT	= <i>Hydaraulic Retention Time</i>
BPS	= Badan Pusat Statistik

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Susanthi (2018) menyebutkan bahwa air limbah domestik adalah air yang terbuang dari aktivitas manusia seperti kegiatan memasak hingga penggunaan toilet dan wastafel. Berdasarkan Permen LHK No 68 Tahun 2016, setidaknya ada 7 kandungan yang perlu dicermati agar tidak melampaui baku mutu yang ditetapkan. Parameter tersebut adalah pH, BOD, COD, TSS, minyak & lemak, amoniak, dan total coliform. Polutan terbesar yang mencemari perairan adalah air limbah yang berasal dari rumah tangga (domestik). Hal ini terjadi karena sekitar 60-80% air bersih yang digunakan akan terbuang sia-sia dan langsung masuk ke lingkungan atau saluran terbuka yang seringkali tidak diolah setelahnya.

Limbah domestik yang dihasilkan dari aktivitas rumah tangga memerlukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dilepaskan ke lingkungan. Salah satu upaya menurunkan atau menghilangkan kandungan bahan pencemar pada air limbah domestik adalah dengan membangun Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) domestik. Terdapat banyak pilihan pengolahan air limbah salah satunya adalah IPAL yang menggunakan *Activated Sludge* sebagai pengolahan biologis untuk menurunkan bahan organik pada air limbah. IPAL di Indonesia masih sering menggunakan *Activated Sludge* sebagai teknologi pengolahan biologis (Said, 2007). Namun air olahan menggunakan teknologi ini masih menyisakan kandungan Nitrogen dan Fosfor dalam air limbah (Yamashita *et al*, 2014). Apabila Nitrogen dan Fosfor terlepas ke lingkungan dalam jumlah yang besar dapat menimbulkan peristiwa eutrofikasi. Bahri (2016) mengungkapkan bahwa eutrofikasi timbul karena meningkatnya pertumbuhan alga dan tanaman air lain akibat tingginya konsentrasi nutrien (Nitrogen dan Fosfor) di dalam air. Dampak yang ditimbulkan adalah penurunan kualitas air dan kematian terhadap makhluk hidup sekitar perairan. Konsentrasi nitrogen dan fosfor dalam air limbah domestik sangat

bervariasi biasanya berada pada rentang 10-100 mg/l untuk nitrogen dan 5-25 mg/l untuk fosfor (Bahri, 2016).

Saat ini banyak dijumpai teknologi alternatif yang dapat digunakan untuk mereduksi kandungan Nitrogen dan Fosfor pada air limbah. Salah satunya merupakan modifikasi dari *Activated Sludge* yang dikenal dengan sebutan *Anaerobic-Anoxic-Oxic* (A2O). Teknologi ini terdiri dari 3 fase pengolahan yaitu anaerobik, anoksik, oksik dengan *Return Activated Sludge* ke fase anaerobik dan *Mixed Liquor Recycle* (MLR) dari bak oksik menuju bak anoksik yang diyakini memiliki effluent berkualitas tinggi (Qasim & Zhu, 2017).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan performa penghilangan nutrien di air limbah domestik IPAL X dengan dua skenario teknologi pengolahan biologis yaitu *Activated Sludge* dan A2O. Selanjutnya peneliti akan melakukan simulasi terhadap teknologi yang direncanakan pada IPAL X dengan bantuan *software* STOAT (*Sewage Treatment Operation and Analysis over Time*). STOAT akan menunjukkan performa masing-masing opsi teknologi dalam mengolah kandungan nutrien pada air limbah. Dimana output yang akan dihasilkan adalah suatu grafik dan analisa data kualitas penurunan kandungan air limbah pada *effluent* IPAL X serta pertimbangan pengaplikasian teknologi melalui analisa SWOT.

## 1.2 Rumusan masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana perencanaan IPAL menggunakan teknologi *Activated Sludge* dan *Anaerobic-Anoxic-Oxic* (A2O)?
2. Bagaimana penyusunan simulasi model *modelling* IPAL X dengan teknologi *Activated Sludge* dan *Anaerobic-Anoxic-oxic* (A2O) dalam penyisihan nutrient menggunakan *Software* STOAT?
3. Teknologi manakah yang menunjukkan performa lebih baik dan dapat diterapkan pada IPAL X?



### 1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini meliputi :

1. Melakukan perencanaan IPAL menggunakan teknologi *Conventional Activated Sludge* (CAS) dan teknologi *Anaerobic-Anoxic-Oxic* (A2O)
2. Melakukan simulasi penyisihan nutrien, yaitu nitrogen dan fosfor dengan teknologi *Activated Sludge* dan *Anaerobic-Anoxic-Oxic* (A2O) menggunakan *Software* STOAT (*Sewage Treatment Operation and Analysis over Time*) pada IPAL X yang dirancang
3. Menganalisa kesesuaian penerapan proses teknologi terbaik untuk diterapkan pada IPAL X menggunakan analisa SWOT

### 1.4 Ruang Lingkup

Batasan dalam penelitian ini berupa :

1. Data teknis berupa kualitas *influent* dan *effluent* IPAL X menggunakan data umum kualitas air limbah di Indonesia dan beberapa negara tetangga yang diperoleh melalui studi literatur
2. Data debit diperoleh dari perencanaan proyeksi debit air limbah daerah pelayanan IPAL X
3. Kriteria desain perencanaan bersumber dari buku karangan Metcalf & Eddy (2003) dengan judul *Wastewater Engineering; Treatment and Reuse (4th edition)*, Buku A dan B SPLDT Cipta Karya, dan Qasim (2017) *Wastewater Treatment and Reuse, Theory and Design Examples, Volume 1*
4. Perhitungan manual bersumber dari Buku A dan B SPLDT Cipta Karya dan Qasim (1992) dengan judul *Wastewater Treatment and Reuse, Theory and Design Examples 2<sup>nd</sup> edition*
5. Parameter dalam pemodelan nutrien yang digunakan adalah Nitrogen (N) dan Fosfor (P). Sedangkan parameter lain seperti nilai BOD, COD, suhu, pH, dan MLSS digunakan sebagai data pendukung pada model STOAT.

6. Menggunakan *Software* STOAT (*Sewage Treatment Operation and Analysis over Time*)

## 1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh setiap aspek pada penelitian ini adalah :

1. Perguruan Tinggi

Dapat digunakan sebagai sumber pembelajaran dalam membantu proses belajar-mengajar terkait Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (PIPAL). Kemudian pemanfaatan *Software* STOAT 5.0 dapat memperlihatkan kemudahan perancangan unit *Activated Sludge* dan *Anaerobic-Anoxic-oxic* (A2O) pada IPAL yang direncanakan.

2. Masyarakat Umum

Menjadi suatu pandangan tambahan terkait penggunaan *Software* STOAT 5.0 yang memberikan kemudahan perencanaan IPAL khususnya teknologi *Activated Sludge* dan *Anaerobic-Anoxic-oxic* (A2O)

3. Pemerintah

Dapat memberikan solusi bagi pemerintah dalam merencanakan IPAL yang mampu menyisihkan kandungan nutrisi pada air limbah domestik menggunakan bantuan STOAT 5.0

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

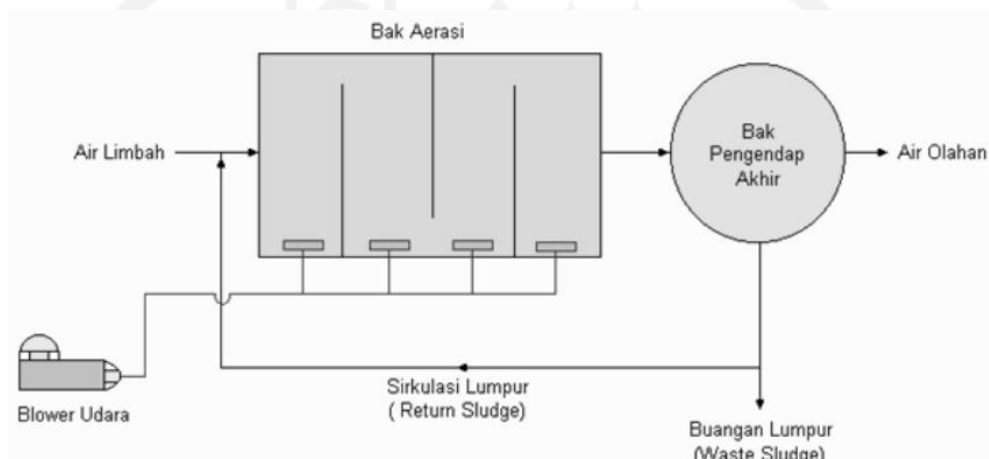
#### **2.1 Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik**

Kepmenkes NO. 892 Tahun 1999 menyatakan bahwa dalam pemeliharaan kesehatan perumahan, seharusnya dilakukan pengolahan terhadap air limbah yang dihasilkan di rumah tangga atau domestik. Hal ini karena permasalahan lingkungan yang banyak terjadi saat ini adalah buangan rumah tangga yang masuk ke dalam badan air dan mencemarinya. Sehingga upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasinya adalah dengan membuat suatu pengolahan yang dikenal dengan IPAL atau Instalasi Pengolahan Air Limbah. IPAL adalah suatu perangkat dan perlengkapannya yang tersusun secara sistematis dengan tujuan mengolah cairan sisa dari proses pabrik maupun rumah tangga sebelum dinyatakan layak untuk dilepaskan ke lingkungan (Prillia, 2014).

#### **2.2 *Activated Sludge* Konvensional (CAS)**

*Activated Sludge* atau lumpur aktif merupakan teknologi pengolahan air limbah yang banyak dipilih karena memiliki kemudahan operasional, ekonomis, dan kemampuan removal kontaminan air limbah yang baik (Ayoub, 2018). Said (2018) menyebutkan bahwa, Lumpur aktif bekerja dengan memanfaatkan mikroorganisme yang hidup secara tersuspensi yang akan memecah polutan di dalam air limbah. Proses ini dilengkapi dengan aerator yang berfungsi menghembuskan udara ke dalam air limbah yang akan digunakan oleh mikroorganisme dalam bertahan hidup yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Biomassa akan terbentuk dalam jumlah yang besar dan menandakan bahwa proses degradasi dapat berjalan baik selama biomassa atau mikroorganisme mendapatkan asupan energi dan makanan (bahan organik) yang tepat porsinya. Kemampuan *Activated Sludge* dalam menghilangkan TSS (*Total Suspended Solid*) adalah 80-90%, BOD (*Biological Oxygen Demand*) sebesar 80-85%, dan COD (*Chemical*

*Oxygen Demand*) sebesar 80-95% (Metcalf & Eddy,2003). Namun dalam kondisi limbah dengan bahan organik serta nitrogen dan fosfor yang tinggi, *Activated Sludge* berpotensi mengalami *sludge bulking* dimana Mikroorganismenya berfilamen menghambat proses sedimentasi karena solid sukar mengendap. Sehingga *removal efficiency* terhadap kontaminan akan mengalami penurunan (Budianti, 2017).



Gambar 2. 1 Skema proses Activated Sludge Konvensional

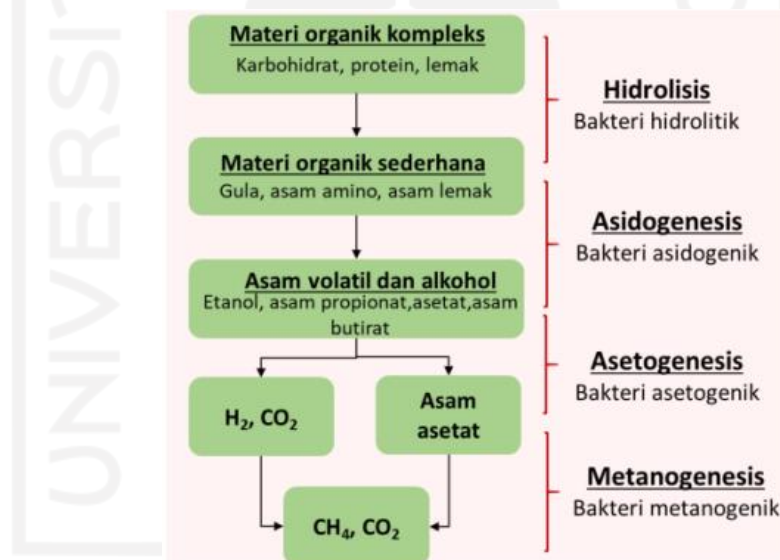
Sumber : Pranoto (2019)

### 2.3 Anaerobic-Anoxic-Oxic (A2O)

Proses A2O merupakan salah satu dari turunan modifikasi lumpur aktif yang mampu mereduksi kandungan fosfor dan nitrogen melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Proses ini melibatkan tiga kondisi berbeda pada pengolahan *activated sludge* yaitu *Anaerobic*, *Anoxic*, dan *Oxic* (Gambar 2.2). Berdasarkan penamaan bak A2O, bak anaerobik dan bak anoksik ditambahkan sebelum bak oksik. Selain berperan dalam penyisihan TN dan TP, pada bak anaerobik dan anoksik juga terjadi proses degradasi bahan organik oleh aktivitas mikroba.

Tahapan pengolahan yang terjadi pada bahan organik terbagi atas 4 tahapan yaitu Hidrolisis, Asidogenesis, Asetogenesis, dan Metanogenesis. Menurut Modul Teknologi WtE (2018), keempat tahapan yang terjadi pada bak anaerobik diawali dengan Hidrolisis dimana bakteri hidrolitik melepaskan enzim yang berperan dalam

pengubahan bahan organik kompleks yaitu karbohidrat, protein, dan lemak menjadi bahan organik lebih sederhana yaitu gula, asam amino, dan asam lemak. Selanjutnya pada tahapan Asidogenesis, bakteri asidogenik akan mengubah bahan organik sederhana menjadi asam volatil dan turunan alkohol. Selain itu juga dihasilkan ammonia pada tahapan ini. Tahapan selanjutnya yaitu Asetogenesis dimana asam lemak dan volatil akan dikonversikan menjadi  $H_2$ ,  $CO_2$ , dan asam asetat. Selama tahapan inilah kadar BOD dan COD pada air limbah akan berkurang yang menandakan bahan organik telah mengalami proses degradasi oleh ketiga tahapan diatas. Sedangkan tahapan terakhir yaitu Metagenesis akan mengubah  $H_2$  dan asam asetat menjadi gas metana dan  $CO_2$ . Berikut merupakan gambaran secara singkat yang terjadi pada bak anaerobik yang ditunjukkan oleh Gambar 2.2.



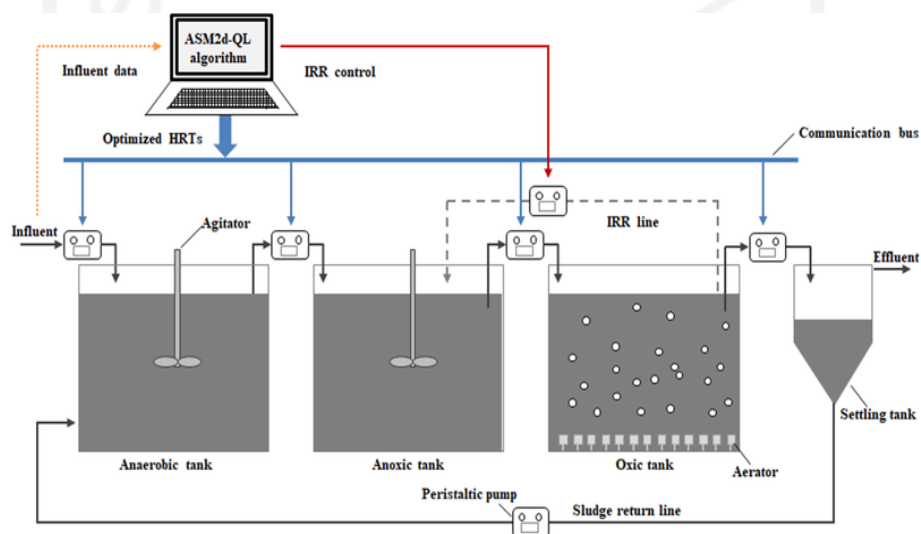
Gambar 2.2 Tahapan Aktivitas Mikroba dalam Bak Anaerobik

Sumber : Modul Teknologi WtE (2018)

Modifikasi *Activated Sludge* ini bekerja dengan cara mengubah amonia menjadi nitrit (kondisi oksik) dan nitrit menjadi nitrat selama air limbah melalui tangki dengan kondisi anaerobik, anoksik dan aerobik yang dikenal dengan sebutan proses nitrifikasi (Pai, 2001). Air limbah dari tangki oksik akan dikembalikan ke tangki anoksik, pada periode inilah akan terjadi proses denitrifikasi dimana nitrat akan diubah menjadi gas nitrogen.

Selain penyisihan nitrogen, proses A2O juga akan mereduksi BOD/COD serta nutrisi lain yaitu fosfor. Pada tangki oksik, senyawa fosfor larut akan

digunakan oleh mikroorganisme dan disintesis menjadi polifosfat dengan bantuan energi dari BOD/COD yang ada di air limbah. Kemudian ketika air limbah dikembalikan ke tangki anoksik, senyawa fosfat anorganik yang terkandung di dalam mikroorganisme akan terhidrolisis dan terjadilah pelepasan fosfat dari air limbah (Satria et al., 2019). Teknologi lumpur aktif modifikasi ini banyak digunakan karena ekonomis, efisien, dan mudah dioperasikan jika dibandingkan dengan teknologi fisik-kimia.



Gambar 2. 3 Skema proses *Anaerobic Anoxic Oxidation*

Sumber : Pang (2019)

## 2.4 Perbandingan CAS dan A2O

Secara teoritis yang didapatkan dari penelitian terdahulu, terdapat beberapa perbedaan yang cukup signifikan khususnya pada penyisihan TN dan TP pada air limbah antara teknologi CAS dan A2O yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut ini:

Tabel 2. 1 Perbedaan Teknologi CAS dan A2O

Karakteristik	<i>Conventional Activated Sludge (CAS)</i>	<i>Anaerobic-Anoxic-Oxic (A2O)</i>
HRT (Jam)	2-8.5*	Anaerobic = 0.5-1.5

		Anoxic = 0.5-1
		Oxic = 3.5-6
		<b>Max HRT = 8.5**</b>
SRT (hari)	5-15*	4-27**
MLSS (mg/l)	2500-4000*	3000-5000**
Rasio RAS	0.25-1	0.2-0.5
Aliran kembali (MLR)	-	1 kali (dari bak oksik ke bak anoksik)
F/M (/hari)	0.2-0.6*	0.15-0.25**
Proses Kimia***	Nitrifikasi	Nitrifikasi dan Denitrifikasi
	$\text{COHNS} + \text{O}_2 + \text{nutrients} \Leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{NH}_4 + \text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$	
Nitrifikasi	$\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2 + 5\text{O}_2 \Leftrightarrow 5\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{NH}_4 + \text{energy}$	
	$2\text{NH}_4 + 3\text{O}_2 \Leftrightarrow 2\text{NO}_2 + 4\text{H}_2\text{O} + 4\text{H} + \text{Sel baru}$	
Denitrifikasi	$2\text{NO}_2 + \text{O}_2 \Leftrightarrow 2\text{NO}_3 + \text{Sel baru}$	
	Tidak ada	$\text{NO}_3 + \text{BOD} \Leftrightarrow \text{N}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{OH}$
Penyisihan nitrogen	Tidak ada	Ada
Penyisihan fosfor	Tidak ada	Ada
Kelebihan	kemudahan operasional, ekonomis, dan kemampuan removal kontaminan air limbah yang baik, Kebutuhan lahan lebih sedikit dibandingkan A2O	Ekonomis, efisien, mampu menyisihkan nitrogen dan fosfor, hasil effluent lebih baik dari CAS
Kekurangan	Tidak mampu menyisihkan kandungan nitrogen dan fosfor, hasil effluent tidak lebih baik dari A2O, berpotensi terjadi <i>sludge bulking</i>	Kebutuhan lahan lebih besar, kebutuhan oksigen lebih banyak dibandingkan CAS, kebutuhan energi besar, sulit untuk memahami proses operasional

(Sumber : \*Buku B, PUPR ; \*\* Metcalf & Eddy, 2003 ; \*\*\*Judd, 2006

Catatan :  $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$  = sel baru ; COHNS = bahan organik

## 2.5 Total Nitrogen dan Total Fosfor

Nitrogen dan Fosfor dapat dijumpai di lingkungan bebas salah satunya dalam air permukaan seperti sungai, danau, dan lainnya. Nitrogen merupakan unsur



kimia yang dijumpai di atmosfer dalam jumlah besar yaitu sebesar 78%. Nitrogen juga dapat terakumulasi dalam bentuk Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) yang merupakan jumlah amonia dan organik nitrogen. Sumber nitrogen dalam kehidupan sehari-hari dapat berasal dari air limbah dan pupuk urea. Selain nitrogen, air limbah juga mengandung fosfor yang biasanya berada dalam jumlah 5-9 mg/l. Fosfor dapat dihasilkan dari *human waste, by product* industri makanan, dan limbah deterjen. Pada lingkungan, fosfor dapat dijumpai dalam bentuk ortofosphat, poli-fosfat, dan organik fosfat (Curtin, 2011). Keberadaan Nitrogen dan Fosfor di perairan mampu mengganggu kesetimbangan ekosistem yaitu memicu terjadinya peristiwa eutrofikasi (Gambar 2.3) yang menyebabkan timbulnya *algae bloom* dan menghambat kehidupan biotik akibat menurunnya kadar oksigen di perairan.



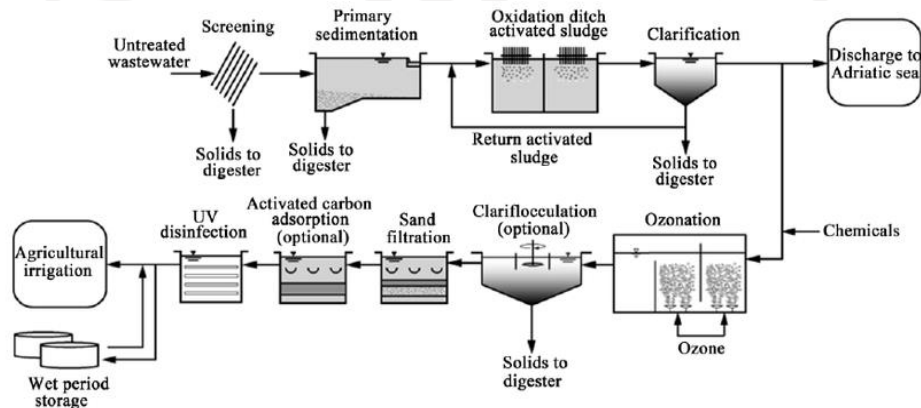
Gambar 2. 4 Peristiwa Eutrofikasi di Perairan

(Sumber : Curtin, 2017)

## 2.6 Teknologi Pengolahan Air Limbah

Pada umumnya pengolahan air limbah terdiri atas empat tahapan yang terdiri atas *Preliminary Treatment*, *Primary Treatment*, *Secondary Treatment*, dan *Tertiary Treatment*. Setiap tahapan ini disesuaikan dengan kebutuhan dan karakteristik air limbah yang akan diolah. Pengolahan awal (*Preliminary*

*Treatment*) merupakan tahapan penghilangan padatan berukuran makro berupa penyaringan menggunakan *Bar Screen*. Selain itu, *Equalization Tank* juga merupakan tahapan awal yang berfungsi menyamakan debit aliran dan kuantitas air limbah. Selanjutnya pengolahan primer (*Primary Treatment*) pada bak Sedimentasi Primer berfungsi menghilangkan padatan tersuspensi yang terkandung di dalam air limbah. Tahapan ini menyesuaikan teknologi pengolahan biologis yang akan digunakan. Sedangkan tahapan pengolahan sekunder (*Secondary Treatment*) atau pengolahan biologis merupakan tahapan yang melibatkan aktivitas biologis (mikroorganisme) di dalam mengolah air limbah. pada tahapan ini, bahan organik terlarut dan koloid akan disisihkan. Setelah mengalami penurunan kandungan bahan organik, maka selanjutnya air limbah masuk pada bak pengendap sekunder. Bak ini bertujuan mengendapkan sisa pengolahan pada *Secondary Treatment* dan bekerja secara gravitasi. Kemudian tahapan terakhir pada pengolahan air limbah bersifat opsional. Hal ini dikarenakan perlu menyesuaikan dengan kandungan yang secara khusus perlu dihilangkan pada air limbah seperti kadar nitrogen, logam berat, mikroba, total coliform, virus, dan lain-lain (Aditia, 2020).



Gambar 2. 5 Tahapan Pengolahan Air Limbah

(Sumber : Ranieri dkk, 2011)

## 2.7 Sewage Treatment Operation and Analysis over Time (STOAT)

Simulasi digunakan dengan teknik memodelkan pengolahan air limbah domestik IPAL X dengan dua teknologi pengolahan biologis berbeda yaitu *Activated Sludge* dan *Anaerobic-Anoxic-Oxic* (A2O). Pemodelan yang digunakan adalah STOAT, dimana *Software* ini dikembangkan oleh perusahaan Inggris bernama WRC plc. Tujuannya adalah untuk mensimulasikan proses yang terjadi pada pengolahan air limbah yang akan dirancang maupun yang telah ada untuk melihat efisiensi kinerjanya. Simulasi ini juga dapat mengoptimalkan kinerja IPAL terdahulu dengan menerapkan modifikasi pada teknologinya (Issa, 2019). Kemudian Gao (2016) menyebutkan bahwa STOAT mampu mensimulasikan lebih dari 40 jenis teknologi yang digunakan dalam sistem IPAL diantaranya adalah *Primary Tank*, *SBR*, *Activated Sludge*, *Trickling Filter*, *Sludge Treatment* dan sebagainya. Salah satunya simulasi yang dilakukan terhadap *Activated Sludge* terdiri dari beberapa proses model yaitu ASAL1, ASAL2, ASAL3, ASAL5, dan lain-lain. Kode tersebut menunjukkan jenis turunan *Activated Sludge* yang digunakan untuk menunjukkan proses pengolahan yang berbeda-beda. *Output* dari STOAT berupa grafik dan data yang dapat menunjukkan bagaimana performa IPAL yang disimulasikan bekerja. Data-data yang diperlukan selama simulasi ini berupa data sekunder IPAL X yaitu debit *influent*, konsentrasi parameter uji, dan data pendukung lain. Melalui pemodelan ini diharapkan mampu menghemat waktu perencanaan dan mempermudah dalam mengetahui kekurangan dari sistem IPAL yang telah direncanakan sebelumnya.

## 2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu dibutuhkan sebagai acuan penelitian yang akan dilakukan. Penelitian tersebut mengenai perencanaan IPAL menggunakan *Activated Sludge* dan A2O serta pemodelan menggunakan *Software* STOAT khususnya pada teknologi *Activated Sludge* dan A2O seperti yang dijelaskan lebih lanjut pada Tabel 2.2 berikut :

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu *Modelling* dan Perhitungan Manual

Topik	Teknologi Pengolahan	Skenario Penelitian	Hasil Penelitian	Referensi
STOAT : model ASM2d	<i>Aeration Tank</i>	Perbandingan performa penyisihan BOD, COD, TSS, PO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> pada <i>current</i> of Ghazl El-Mahalla WWTP dan <i>Proposed Upgrading</i> of Ghazl El-Mahalla WWTP menggunakan teknologi lumpur aktif model ASM2d	Model lumpur dengan metode ASM2d dengan bantuan STOAT valid menggambarkan kinerja IPAL dalam mengolah air limbah untuk digunakan kembali demi kepentingan irigasi dan terbukti mampu meningkatkan sistem pengolahan terpadu yang telah diizinkan	Ayoub M.(2018). Performance evaluation for the proposed upgrade of a wastewater treatment plant using ASM2d application. <i>International Journal of Current Engineering and Technology</i> . 8(5), 1303-1309
STOAT: ASAL5	<i>Activated Sludge-Anaerobic Anoxic Oxic (A2O)</i>	Penerapan model ASAL5 pada proses A <sub>2</sub> O yang telah digunakan pada Sanbaoutun wastewater treatment plant. Penerapan dilakukan untuk peningkatan performa dari A <sub>2</sub> O menjadi <i>Modified A<sub>2</sub>O</i> . Simulasi diujikan pada parameter BOD, COD, SS, TN, dan TP.	Pemodelan CAS dilakukan menggunakan <i>software</i> STOAT dengan hasil yang cukup baik karena mampu mensimulasikan jumlah aerasi dan rasio fluks unit. Melalui STOAT, debit air limbah dapat dikurangi dengan jumlah aerasi yang sedikit dan juga kualitas effluent yang menunjukkan dibawah baku mutu provinsi Liaoning	Gao, Y.N, <i>et al.</i> (2016). Operation and management of Liaoning waste water treatment plants by STOAT Simulation. <i>MATEC Web of Conferences</i> 63.

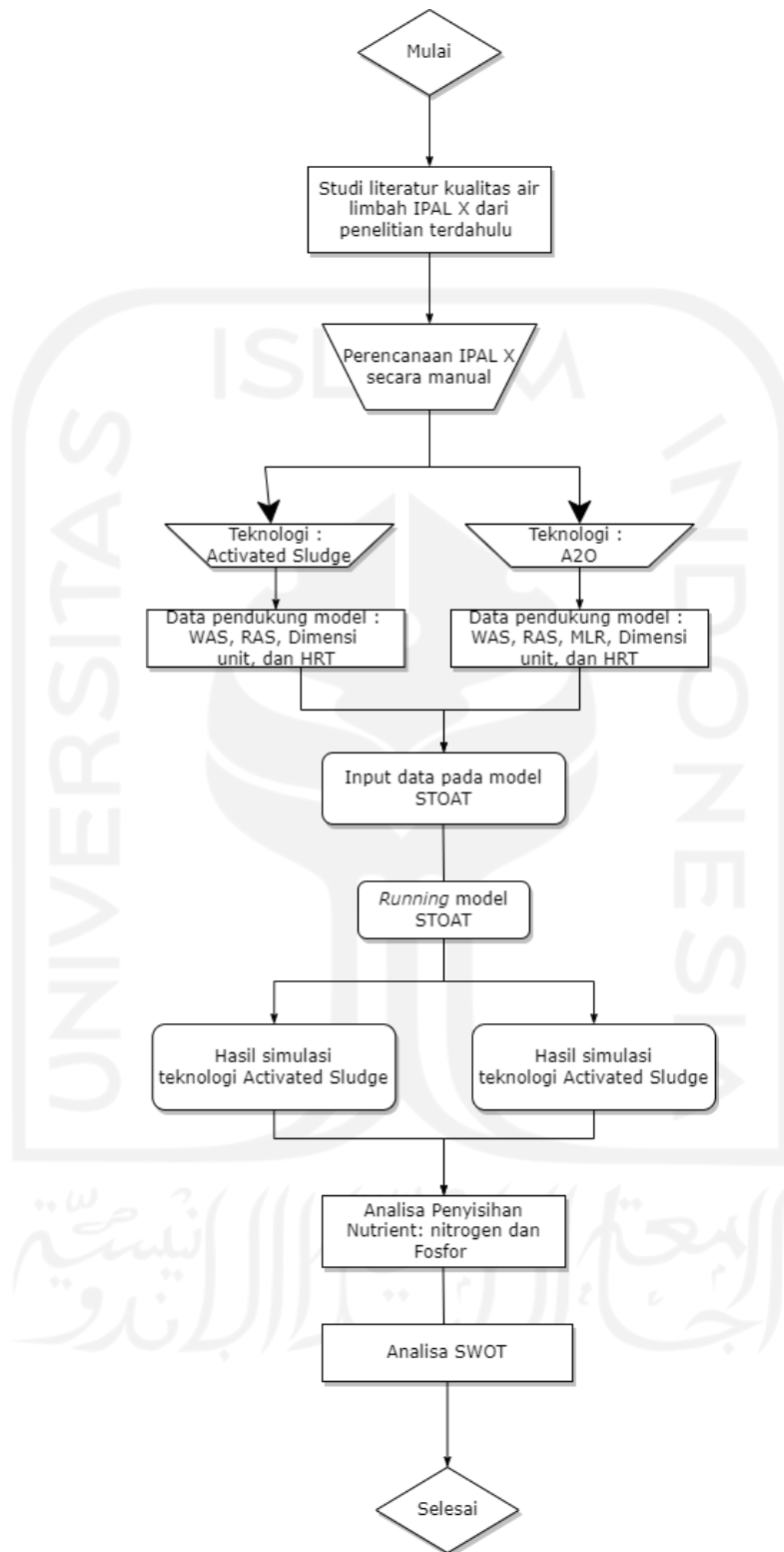
Perhitungan manual desain IPAL BNR (A2O)	<i>Anaerobic Anoxic Oxic (A2O)</i>	Melakukan Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri secara manual menggunakan teknologi BNR-A2O.	Perencanaan IPAL Industri menggunakan teknologi BNR-A2O dengan Rancangan IPAL yang direncanakan terdiri atas bak bar screen, grit chamber, sedimentasi primer, biological nutrient removal, clarifier, desinfeksi, sludge thickener, sludge digester, dan sludge drying bed.	(Dewi, 2014) <i>Rancangan Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri dengan Proses Biologis Biological Nutrient Removal</i> . Institut Pertanian Bogor. : Bogor.
Perhitungan manual desain IPAL <i>Activated Sludge</i>	<i>Activated Sludge</i>	Merancang IPAL Domestik Gedung Transmart menggunakan teknologi <i>Activated Sludge</i> dengan debit perencanaan 59.97 m <sup>3</sup> /hari. Rangkaian pengolahan yang digunakan adalah Bak Ekualisasi, 2 bak Aerasi, Bak sedimentasi, dan Bak Klorinasi.	Perencanaan matematika teknologi <i>Activated Sludge</i> dengan jumlah bak aerasi berjumlah 2 buah dengan P x L x T adalah 4.45 m x 3.35 m x 2.55 dan volume sebesar 38.01 m <sup>3</sup> . Rangkaian bak dengan tambahan bak sedimentasi dan bak ekualisasi sebagai pelengkap perencanaan IPAL Transmart	Dwiyono & Dewi, Y. S (2018). Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Sistem Lumpur Aktif di Gedung Transmart. <i>Jurnal TechLINK</i> . Vol 2, No. 2, Hal 1-12.

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Penelitian dilakukan menggunakan data yang diperoleh melalui studi literatur kualitas air limbah secara umum di Indonesia dan beberapa negara tetangga. Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan dari bulan Desember 2021 hingga Juni 2022. Variabel penelitian yaitu variabel bebas dan variabel dependen. Variabel bebas pada penelitian adalah proses *Anaerobic-Anoxic-Oxic* yaitu bagaimana *Process Model #ASAL5A* dan *#ASAL1* yang digunakan dalam mewakili proses *A2O* dan *Activated Sludge* dalam menurunkan kandungan nutrisi pada air limbah. Sedangkan variabel dependen yaitu penyisihan nutrisi. Penelitian menggunakan data debit yang diperoleh dari proyeksi penduduk daerah perencanaan IPAL X selama kurun waktu perencanaan 10 tahun dengan tahun perencanaan yaitu 2032. Data pendukung lain seperti kualitas influent dan effluent menggunakan data penelitian terdahulu yang diharapkan mampu mewakili simulasi penyisihan nutrisi pada IPAL X. Tahapan penelitian ditunjukkan dalam bentuk *flowchart* yang berisi langkah-langkah pengerjaan penelitian dari awal hingga akhir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian



### **3.2 Tahapan Penelitian**

Penelitian menyajikan 2 jenis skenario perencanaan IPAL X yang diaplikasikan di dalam STOAT untuk melihat performa penyisihan nutrisi. Berikut merupakan tahapan proses penelitian secara rinci :

1. Menghitung manual perencanaan IPAL X dengan 2 skenario berbeda yaitu menggunakan teknologi *Activated Sludge* dan teknologi *Anaerobic-Anoxic-Oxic (A2O)*
2. Membuat skenario 1 IPAL dengan bentuk IPAL X menggunakan teknologi pengolahan yang terdiri dari *Bar Screen*, *Equalization Tank*, *Activated Sludge*, *Secondary Clarifier*, dan *Chlorine Tank* melalui *Software* STOAT
3. Membuat skenario 2 IPAL dengan mengubah proses yang terjadi pada kolam *Activated Sludge* menjadi proses kombinasi dimana menggunakan proses *Anaerobic-Anoxic-Oxic* terhadap penyisihan nitrogen dan fosfor melalui *Software* STOAT
4. Menganalisa hasil simulasi model STOAT dari 2 skenario berbeda terhadap penyisihan nitrogen dan fosfor
5. Menganalisa hasil simulasi *Software* STOAT skenario 2 menggunakan analisa SWOT (*Strength*, *Weakness*, *Opportunity*, dan *Threat*) terhadap penyisihan nutrisi pada IPAL X.

### **3.3 Perhitungan Manual IPAL**

Dalam perencanaan IPAL Wilayah X menggunakan 2 skenario pengolahan biologis, terdapat beberapa unit pengolahan pendukung yang terdiri atas *Preliminary Treatment*, *Secondary Treatment*, dan *Tertiary Treatment*.

#### **3.3.1 Preliminary Treatment**

Pengolahan tahap awal atau *preliminary treatment* termasuk pada pengolahan air limbah secara fisik. Tujuan dari pengolahan ini adalah untuk menghilangkan kandungan polutan yang berukuran makro pada air limbah. Pada perencanaan IPAL X, pengolahan awal yang digunakan adalah *Bar Screen* dan Bak Ekualisasi. *Bar screen* berfungsi untuk menyaring padatan seperti kain, kertas, plastik, dan sampah lain yang kasat mata. Sedangkan

Bak Ekualisasi berfungsi untuk menyamaratakan fluktuasi debit yang air limbah yang masuk serta kualitas air limbah yang terkandung. Jenis *Bar Screen* yang digunakan adalah *mechanical screen* dengan ketentuan desain dan perhitungan sebagai berikut :

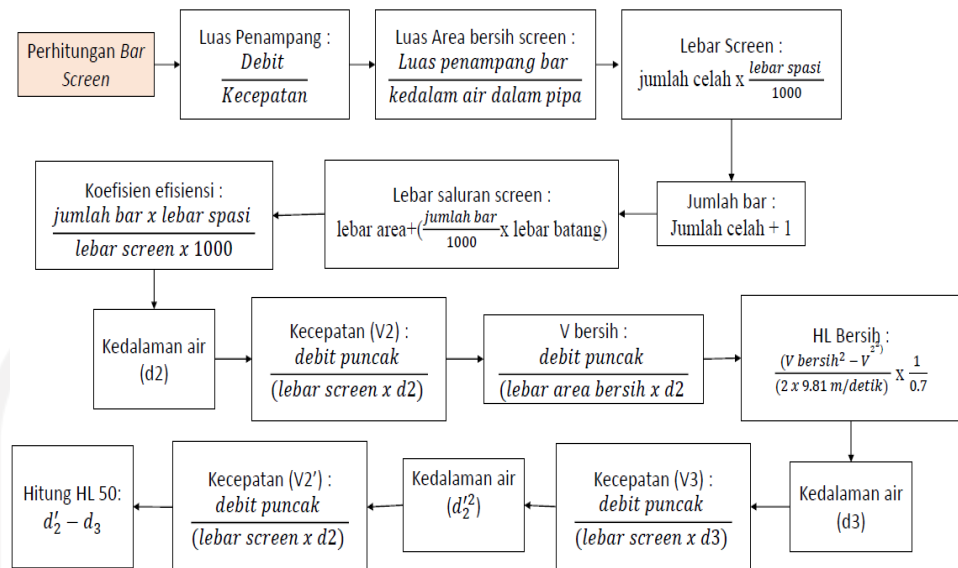
A. *Bar screen*

Perencanaan *Bar Screen* mengacu pada petunjuk teknis pada Buku B SPLAD, Cipta Karya. Gambar 3.2 menunjukkan alur perhitungan *Bar Screen* dengan kriteria desain pada Tabel 4.6 serta hasil perhitungan yang terlampir pada **Lampiran IV.1**.

Tabel 3. 1 Kriteria Desain Bar Screen

Parameter	Nilai Kriteria	Kriteria Digunakan
Kecepatan maksimum aliran melalui bar (m/s)	0,3 - 0,6	0.3
Ukuran bar		
Lebar (mm)	4 - 8	4
Tinggi (mm)	25 - 50	25
Spasi antar bar (mm)	25 - 75	25
Kemiringan dari garis horizontal (°)	45 - 60	45
Headloss diizinkan, <i>clogged screen</i> (mm)	150	150
Headloss maksimum, <i>clogged screen</i> (mm)	800	800

Sumber : (Tchobanoglous, 2003)



Gambar 3. 2 Alur Perhitungan Manual Bar Screen

Sumber : Hasil Analisis (2022)

### B. Bak Ekualisasi dan Pompa

Tahapan perhitungan manual Bak Ekualisasi secara rinci ditunjukkan pada Gambar 3.3 dengan ketentuan kriteria desain yang mengacu pada Buku B PUPR terkait petunjuk teknis perencanaan IPAL Domestik Indonesia seerti yang ditunjukkan pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 untuk pompa sebagai berikut :

Tabel 3. 2 Kriteria Desain Bak Ekualisasi

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Kedalaman air minimum	hmin	1.5-2	m
Ambang batas	hfb	1	m
Laju Pemompaan udara	Q udara	0.01-0.015	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .meni t
Kemiringan dasar tangki	S	40-100	mm/m diameter
waktu detensi	t	0.5-2	jam

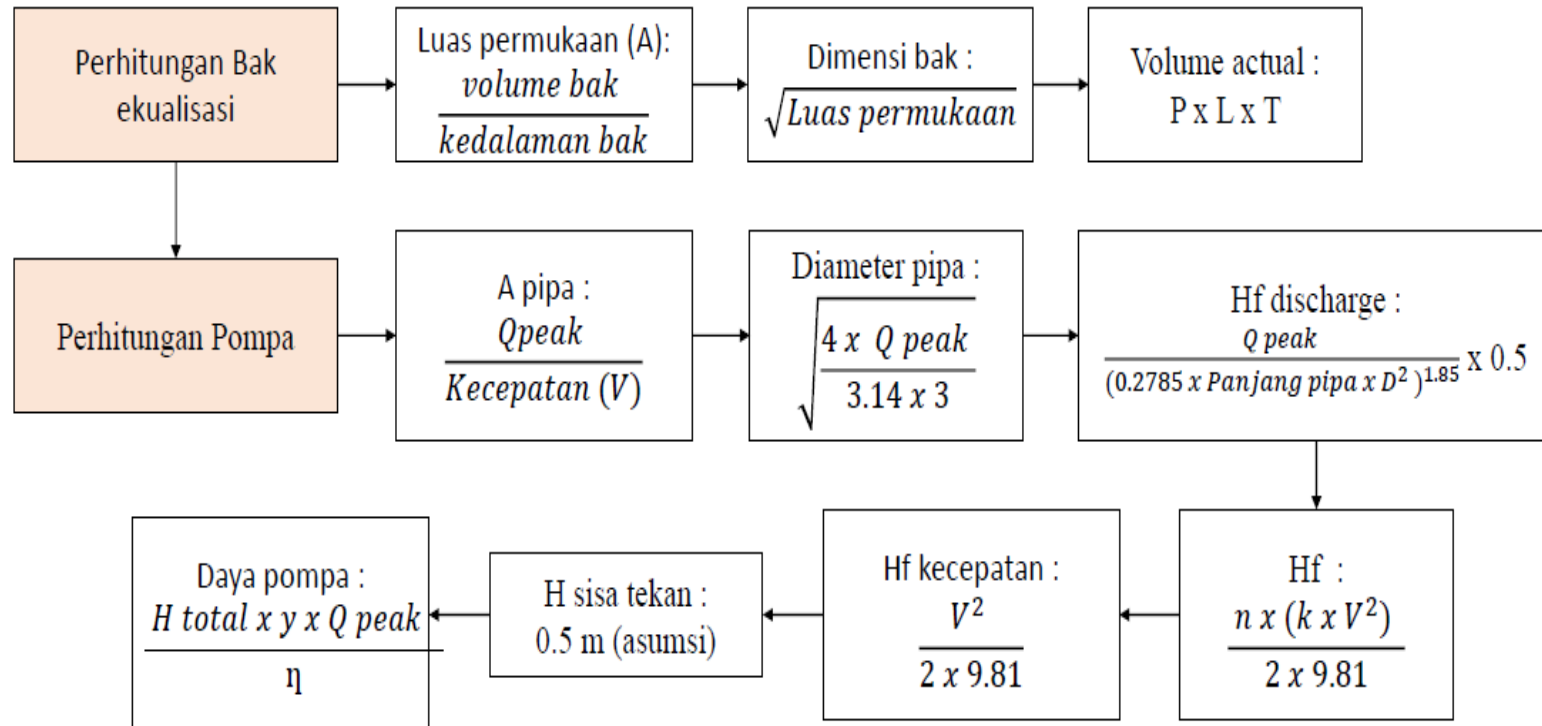
Sumber : Buku B Cipta Karya dan Metcalf & Eddy dalam Priyanka (2012)

Tabel 3. 3 Kriteria Desain Pompa

	Nilai	Satuan
Debit Peak ( $Q_{peak}$ )	0.0233	m <sup>3</sup> /detik
Kecepatan (V)	1	m/detik
Waktu operasi	10	jam
Panjang Pipa	5	m

Sumber : D.Mufida dkk (2017)





Gambar 3. 3 Alur Perhitungan Manual Bak Ekualisasi dan Pompa

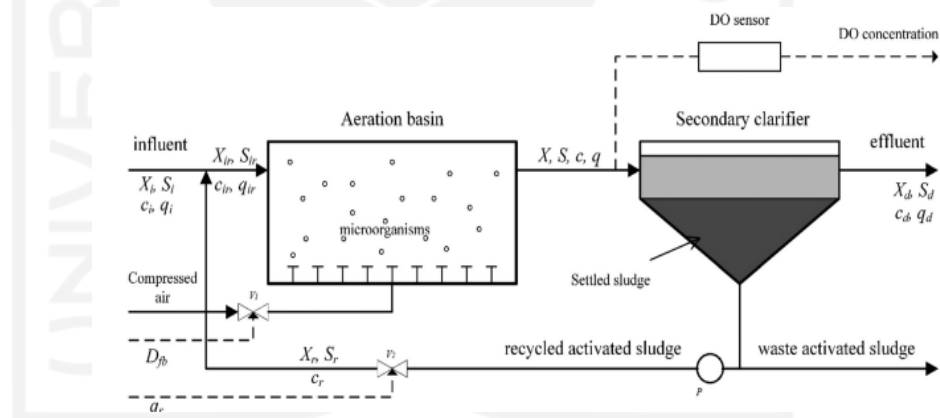
Sumber : Hasil Analisis (2022)

### 3.3.2 Secondary Treatment

#### 3.3.2.1 Activated Sludge Conventional

Proses ini terdiri satu reactor yang bekerja dengan bantuan oksigen yang disuntikan ke dalam air limbah pada bak. Mikroba pada air limbah akan mendegradasi bahan organik yang terkandung pada waktu retensi tertentu. Sehingga air limbah mengalami penurunan kadar bahan pencemar. Setelah melewati bak lumpur aktif, air limbah akan masuk kedalam proses pengendapan sekunder (Bhargava, 2016). Proses yang terjadi pada bak lumpur aktif adalah sebagai berikut (Loo, R.M, 2017):

Bahan Organik + M.O + Nutrient +  $O_2 \rightarrow$  Produk + M.O baru + Energi



Gambar 3. 4 Diagram Proses Activated Sludge

Sumber : Phuc et al (2018)

Berdasarkan Gambar 3.4, Bak *Conventional Activated Sludge* disertai dengan penambahan bak sedimentasi sekunder. Hal ini bertujuan untuk menurunkan kandungan tersuspensi dalam *effluent* CAS akibat aktivitas mikroba. Tabel 3.4 dan Gambar 3.5 menunjukkan kriteria desain yang digunakan dalam merencanakan CAS dan alur perhitungan perhitungan yang dilakukan.

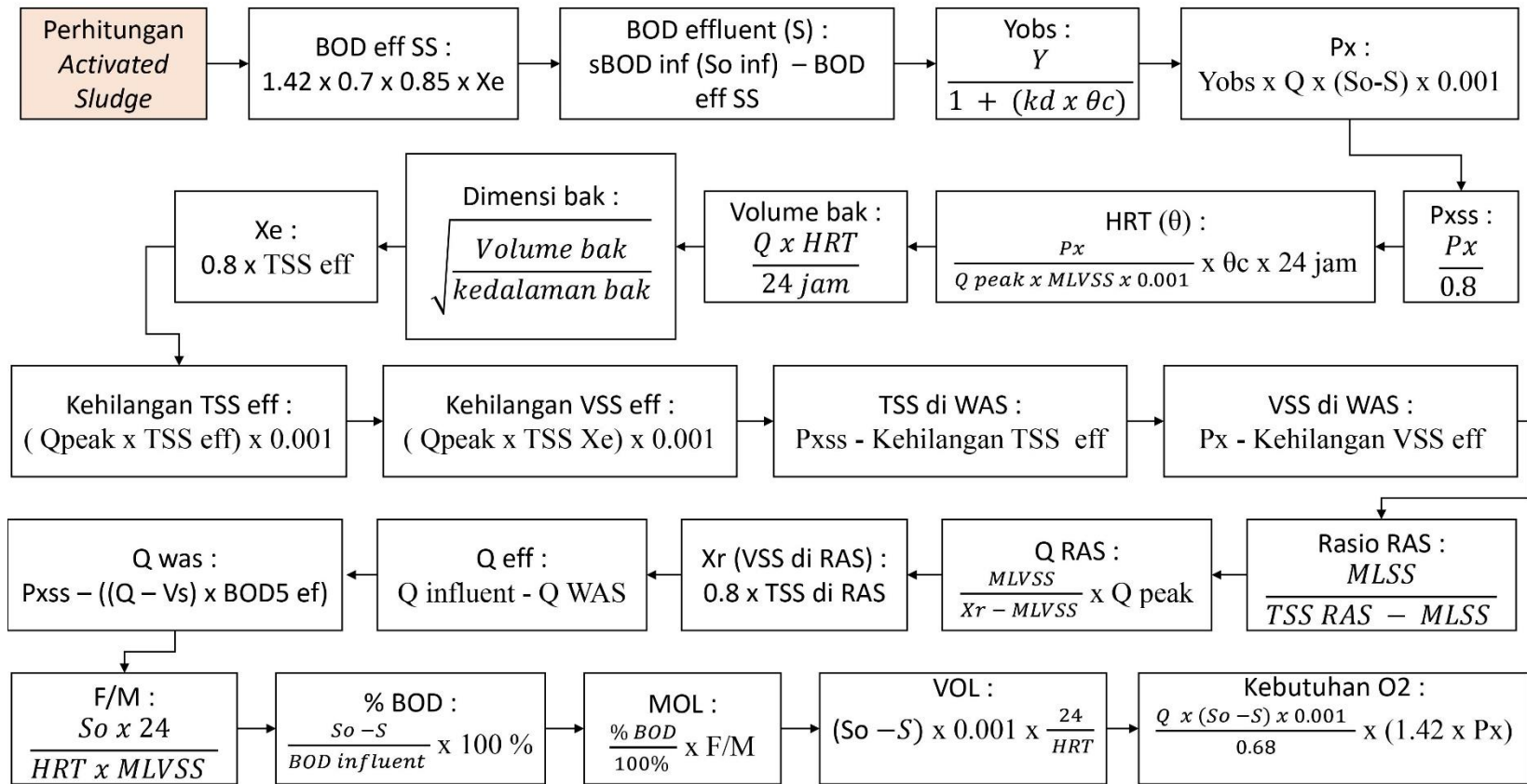
Tabel 3. 4 Kriteria Desain Bak *Activated Sudge* Konvensional

<b>Parameter</b>	<b>Besar Nilai Kriteria</b>	<b>Kriteria Digunakan</b>
Umur sel (hari)	5 - 15	10
MLSS (mg/l)	2500 - 4000	3000
Koefisien Decay (/hari)	0,025 - 0,075	0.05
Koefisien pertumbuhan (kg VSS/mg BOD5)	0,4 - 0,8	0.5

Sumber : *Metcalf & Eddy (2003)*





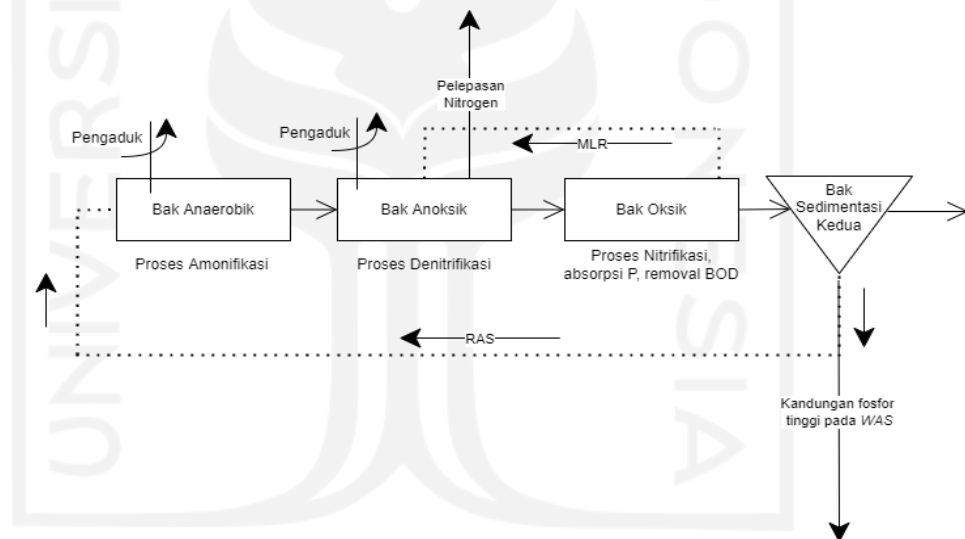


Gambar 3. 5 Alur Perhitungan Manual *Conventional Activated Sludge*

Sumber : Data Analisis (2022)

### 3.3.2.2 Perhitungan Activated Sludge Metode A2O

Pengolahan air limbah dengan orientasi penyisihan kandungan nitrogen dan fosfor dapat dilakukan dengan memodifikasi teknologi pengolahan biologis yang digunakan. Salah satunya adalah modifikasi yang dilakukan pada unit *Activated Sludge* dengan metode *Anaerobic-Anoxic-Oxic* (A2O). Pengolahan ini melibatkan proses nitrifikasi untuk penyisihan nitrogen dan proses denitrifikasi untuk menyisihkan fosfor pada air limbah (Shi, 2014). Metode A2O memiliki 3 fase pengolahan yaitu bak anaerobik, bak anoksik, dan bak oksik.



Gambar 3. 6 Diagram Proses *Anaerobic-Anoxic-Oxic* (A2O)

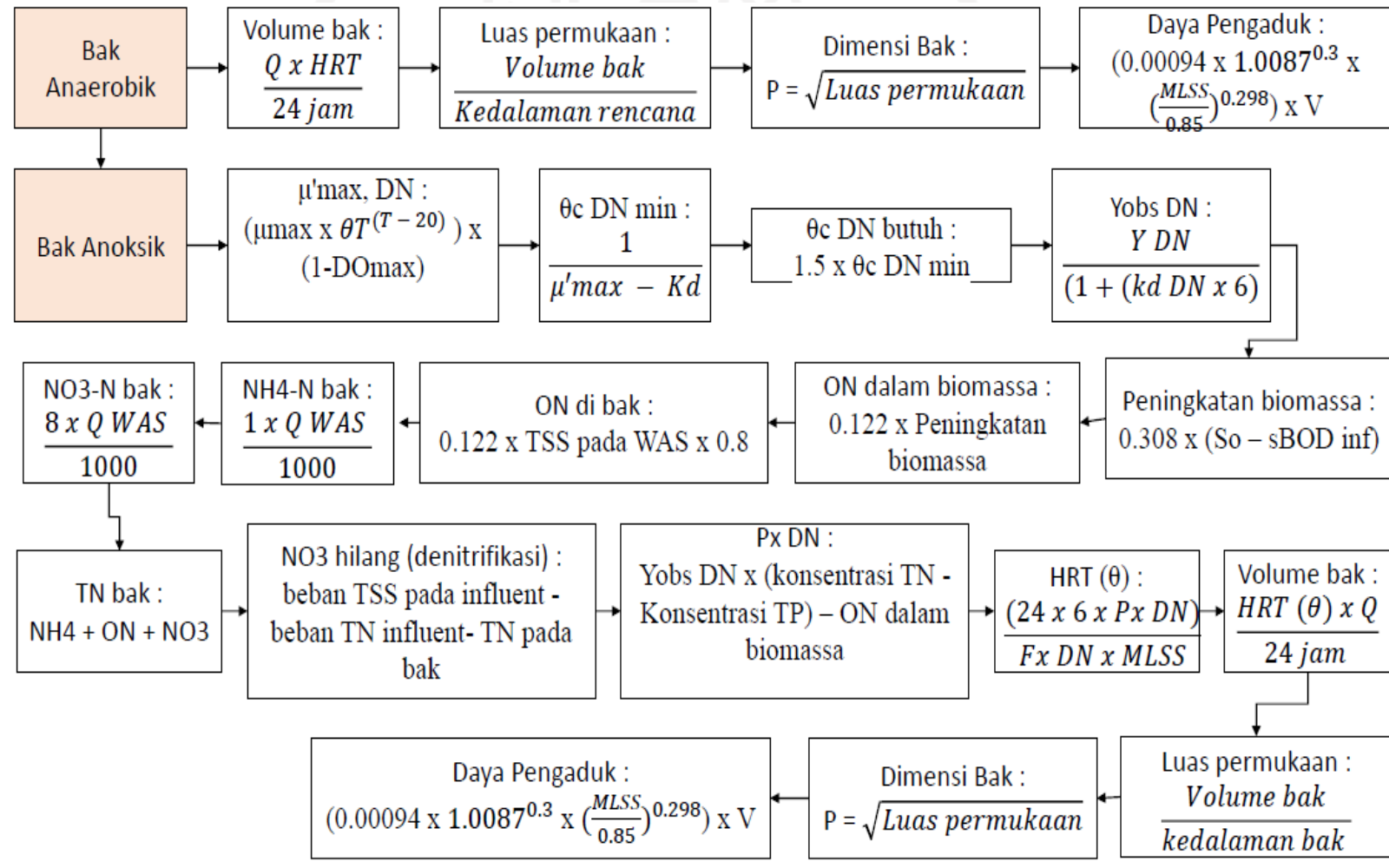
Dimana air limbah yang direncanakan akan mengalami penurunan beban organik sekaligus kadar nutrisi dengan mengacu pada kriteria desain yang ditunjukkan pada Tabel 3.5 dibawah ini :

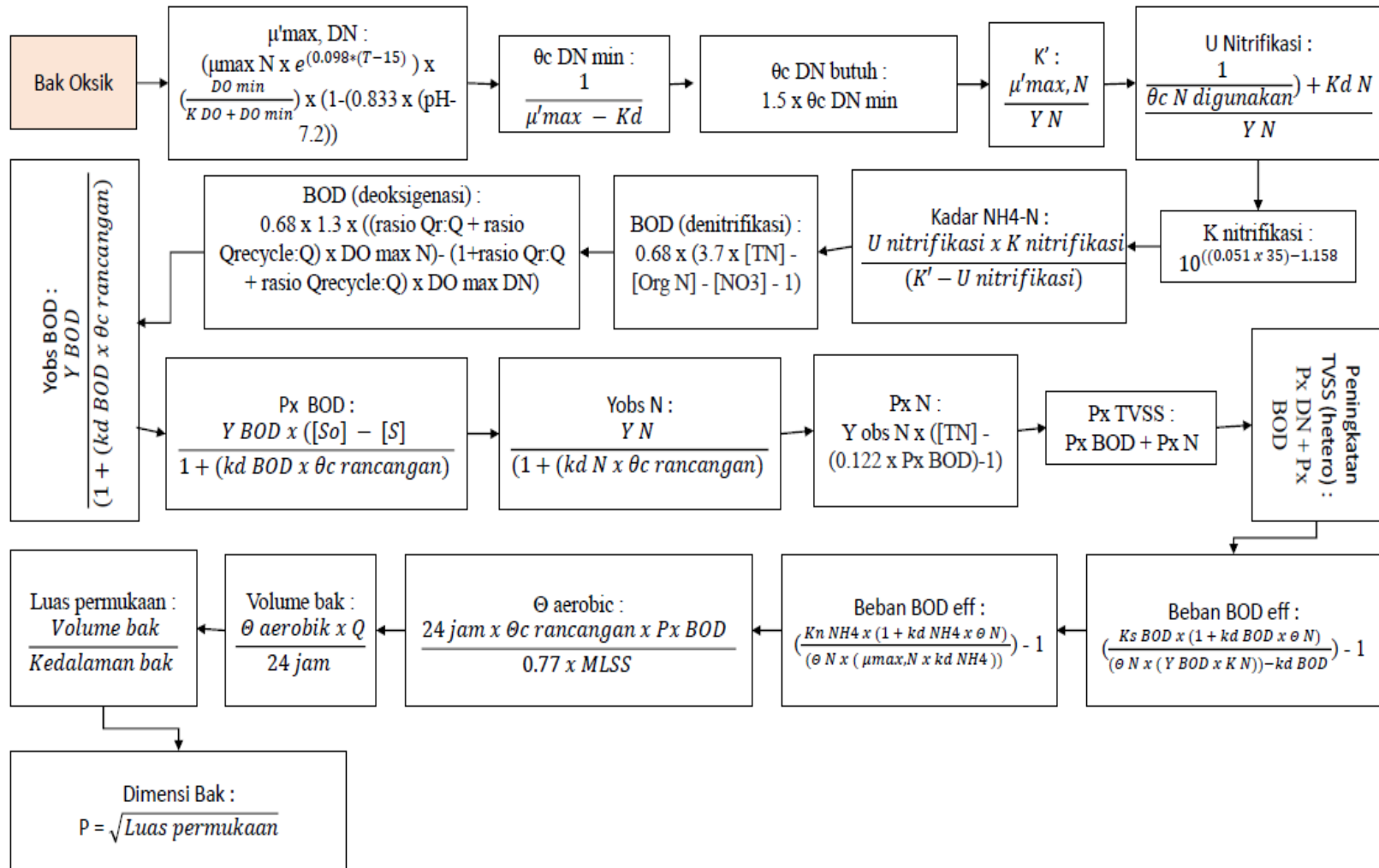
Tabel 3. 5 Kriteria Desain Bak Anaerobik-Anoksik-Oksik (A2O)

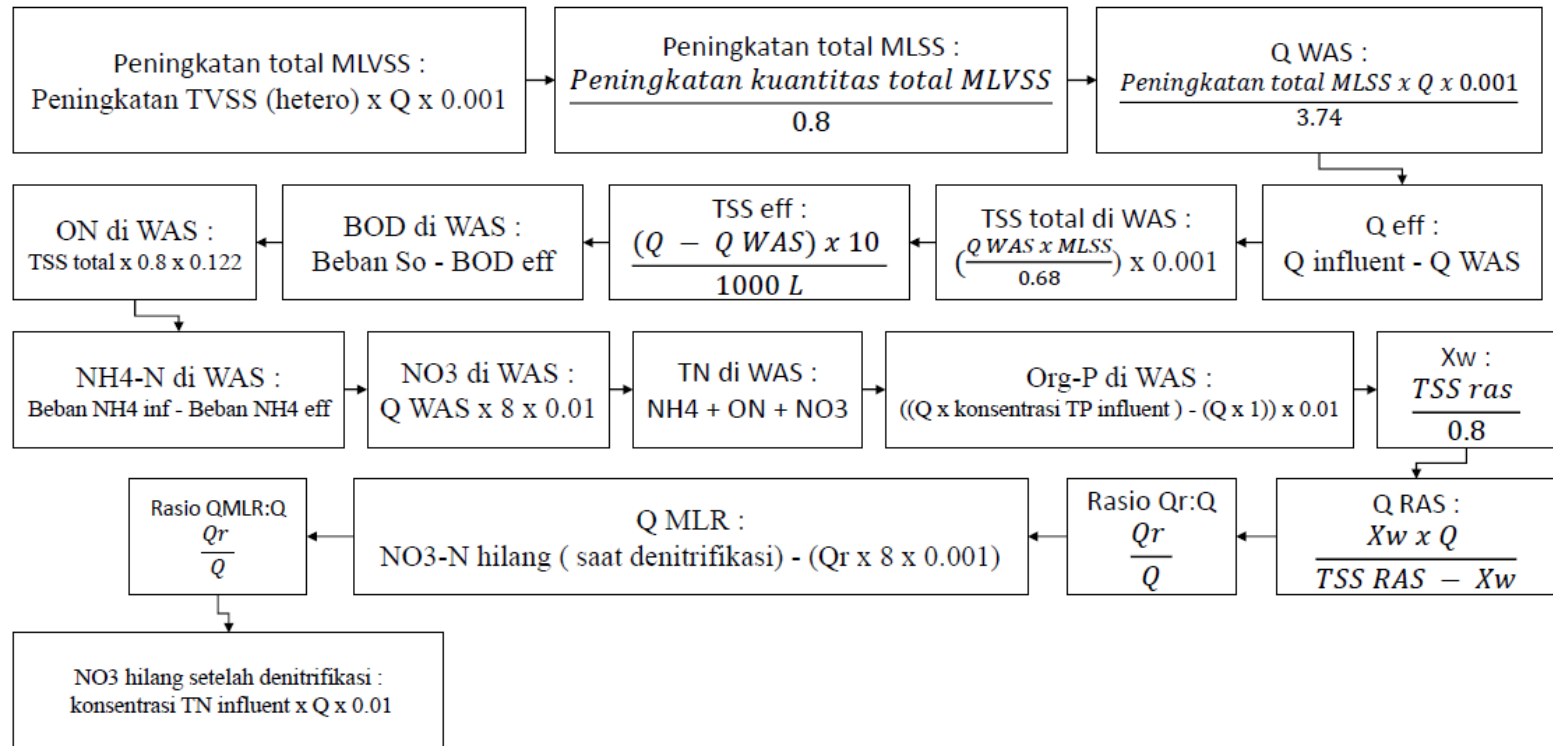
Simbol	Nilai	Satuan
$\mu$ Max nitrifikasi	0.3-3	/hari
K nitrifikasi	0.2-5	mg/L N-NH <sub>3</sub>

Y nitrifikasi	0.1-0.3	mg SSV/ mg N-NH <sub>3</sub>
DO min, N* ( <i>common use</i> )	2	mg/l
K DO, N*	1-1.3	mg/l
Ks nitrifikasi*	40-120	mg/l
Kd nitrifikasi	0.03-0.06	/hari
Y BOD	0.4-0.8	g VSS per g BOD
Kd BOD	0.025-0.075	/hari
pH, N*	7.2	
F proses dan Kinetik N*	1.5-3	
μ Max denitrifikasi	0.3-0.9	/hari
Ks denitrifikasi	0.06-0.2	NO <sub>3</sub> -1-N, mg/L
Y denitrifikasi	0.4-0.9	NO <sub>3</sub> -1-N, mgVSS/mg
Kd denitrifikasi	0.04-0.08	/hari
θT, DN*	1.03-1.2	
DO max, DN* ( <i>common use</i> )	0.1	mg/l
HRT, θ		
Anaerobic	0.5-1.5	Jam
Anoxic	0.5-1	Jam
Oxic	3.5-6	Jam
Solid Retention Time, θ <sub>c</sub>	4-27	hari
MLSS	3000-4000	mg/l

Sumber : Metcalf & Eddy (2003) dan \*Qasim (1992)







Gambar 3. 7 Alur Perhitungan Manual Anaerobic-Anoxic-oxic

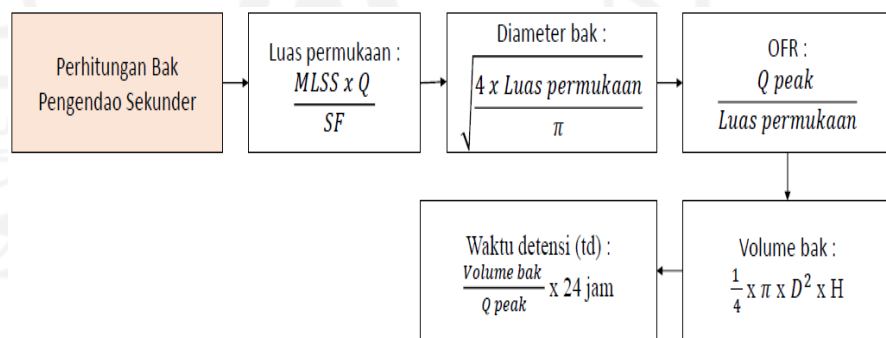
Sumber : Data Analisis (2022)

### 3.3.2.4 Perhitungan Bak Pengendap Kedua

Bak pengendap kedua atau yang dikenal dengan *Clarifier* berfungsi sebagai bak pemisah dan pengendapan material dari hasil pengolahan biologi yaitu Bak Anaerobik-Anoksik-Oksik. Perhitungan matematika perencanaan bak sedimentasi mengacu pada Buku A PUPR terkait RISPAL dengan kriteria desain yang tertera pada Tabel 3.6 dan alur pengerjaan perencanaan yang ditunjukkan pada Gambar 3.8.

Tabel 3. 6 Kriteria Desain Bak Pengendap Kedua

Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
Overflow rate (OR)	12-32	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> hari	Buku A SPLDT, Cipta Karya
Solid loading	15-150	kg/m <sup>2</sup> hari	
Jari-jari bak	3-60	m	
Kedalaman bak (H)	3	m	Lampiran II, PERMEN PU No 04 Tahun 2017
Waktu detensi	2	jam	04 Tahun 2017
Volume lumpur	2211.14	kg/hari	Hasil perhitungan*



Gambar 3. 8 Alur Perhitungan Manual Bak Sedimentasi Sekunder

Sumber : Data Analisis (2022)

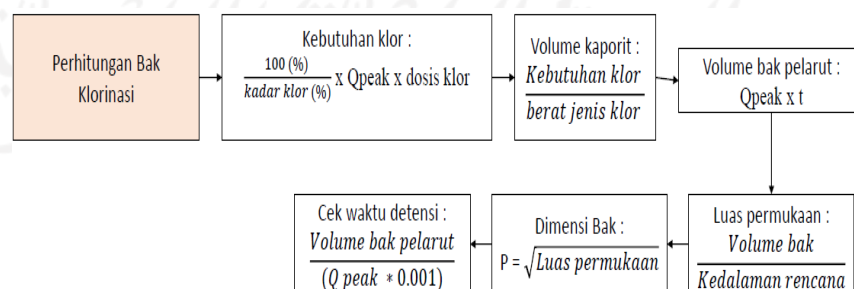


### 3.3.2.5 Perhitungan Tertiary Treatment

Pada umumnya air limbah yang keluar dari proses pengolahan biologis masih mengandung mikroorganisme patogen yang berbahaya jika dilepaskan ke lingkungan. Proses desinfeksi menggunakan klor merupakan salah satu senyawa kimia agen pengoksidasi yang mampu mereduksi mikroorganisme dalam air limbah. Desinfeksi menggunakan klor dinilai murah, lebih aman, dan mudah untuk ditemukan di pasaran (Buku B SPLDT) dengan tahapan perencanaan yang ditunjukkan pada Gambar 3.9 dan Tabel 3.7 menunjukkan kriteria desain bak klorinasi yang digunakan dalam perencanaan ini.

Tabel 3. 7 Kriteria Desain Bak Klorinasi

Parameter	Nilai	Sumber
pH optimum	6 - 7	Priyanka, 2012
Dosis desinfeksi (mg/L)	2 - 8	
Waktu kontak (menit)	15 - 45	
Kadar klor dalam kaporit	70%	
Berat jenis kaporit ( $\rho$ ) (kg/L)	0.8 - 0.88	



Gambar 3. 9 Alur Perhitungan Manual Bak Klorinasi

Sumber : Data Analisis (2022)

### 3.4 Karakteristik Air Limbah Domestik

Data karakteristik air limbah pada penelitian didapatkan dari studi literatur yang dilakukan pada penelitian-penelitian terdahulu yang mendukung karakteristik air limbah domestik secara umum khususnya kandungan nitrogen dan fosfor yang dapat mewakili kondisi air limbah Indonesia dan Asia Tenggara secara umum. Sedangkan data kuantitas air limbah menggunakan data perhitungan proyeksi air limbah daerah perencanaan pada tahun 2032 sebagai tahun perencanaan penelitian ini. Kualitas *influent* akan dibandingkan dengan persyaratan *effluent* sebelum dilepaskan ke lingkungan yang tertuang pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Berikut merupakan kualitas air limbah yang digunakan dalam merencanakan IPAL X dengan metode pengolahan *Activated Sludge* dan A2O yang ditunjukkan pada Tabel 3.8 berikut.

Tabel 3. 8 Karakteristik Air Limbah

No.	Parameter	Konsentrasi Influent (mg/L)		Baku mutu*
		Influent	Effluent	
1	TSS <sup>a</sup>	141 <sup>a</sup>	26 <sup>b</sup>	30
2	BOD <sup>b</sup>	128	36	30
3	COD <sup>c</sup>	250	116.8	100
4	Amoniak <sup>d</sup>	19.5	14.34	10
5	Total Fosfor <sup>e</sup>	12	-	-
6	Total Nitrogen <sup>c</sup>	34.81	20	-
7	Nitrat <sup>e</sup>	7	-	-
8	Nitrit <sup>f</sup>	0.31	0.033	-
9	Fosfat <sup>g</sup>	6.2	6	-

Sumber : <sup>a</sup> Ikkal (2016), <sup>b</sup> Pitoyo et al (2017), <sup>c</sup> Dieu, T. T. M., Mai, H. N. P., & K., S. T. (2016), <sup>d</sup> Goldyna Rarasari, dkk. (2019), <sup>e</sup> Ali Hussein Sabeen, et al (2018), <sup>f</sup> Lumunon, E., dkk. (2021), <sup>g</sup> Muhsinin (2019), \*PermenLHK No 68 Tahun 2016

Standar Indonesia terhadap kadar *effluent* TN dan TP belum tercantum pada Permen LHK No 68 Tahun 2016, sehingga penelitian ini menggunakan *Guidelines* atau standar dari beberapa negara terkait baku mutu yang ditetapkan untuk TN dan TP pada *effluent* IPAL Domestik. Berikut merupakan rangkuman baku mutu TN dan TP dari beberapa negara maju maupun berkembang yang ditampilkan pada Tabel 3.9 berikut :

Tabel 3. 9 Baku Mutu TN dan TP Beberapa Negara

No.	Negara	Parameter (mg/l)	
		TN	TP
1	Jepang <sup>b</sup>	<10	<3
2	China <sup>c</sup>	<15	<1.5
3	Inggris <sup>a</sup>	15	2
4	India <sup>a</sup>	20	1
5	Italia <sup>a</sup>	<15	<2
6	Iran <sup>d</sup>	10	6
7	Thailand <sup>e</sup>	<20	-

Sumber : <sup>a</sup>Schellenberg(2020), <sup>b</sup>JSWA (2012), <sup>c</sup>Li(2013),  
<sup>d</sup>Heidari (2015), <sup>e</sup>National Enviromental Quality (1992)

### 3.5 Perencanaan IPAL X Melalui Pendekatan Simulasi Modelling

Gao (2016) dalam jurnalnya menyebutkan bahwa model STOAT menjadi pemodelan simulasi yang cukup banyak digunakan oleh beberapa negara di dunia seperti Amerika Serikat, Inggris, dan Timur tengah. Keunggulan dari *software* ini adalah kemudahan memperolehnya serta pengoperasiannya yang mudah.

#### 3.5.1 Skenario Pemodelan

Salah satu pengolahan air limbah secara biologis adalah lumpur aktif konvensional. Teknologi ini bekerja dengan cara mengolah air limbah dengan lumpur aktif dalam suatu tangki aerasi dimana oksigen diberikan ke dalam reaktor nya. Kendati lumpur aktif mampu menurunkan bahan organik pada air limbah, namun pengolahan dapat mengalami kendala apabila air limbah mengandung nitrogen dan fosfor yang tinggi sehingga menyebabkan peristiwa *bulking sludge* dimana terdapat mikroorganisme berfilamen yang dapat menghambat proses sedimentasi (Budianti, 2017).

Dewasa ini, telah banyak metode baru yang dapat diterapkan pada lumpur aktif khususnya dalam penyisihan nutrien. Salah satunya adalah modifikasi yang dilakukan dengan metode *Anaerobic-Anoxic-Oxic* (A2O) yang mampu menghilangkan kandungan fosfor, nitrogen, BOD, COD, dan TSS pada air limbah lebih baik dari lumpur aktif konvensional. A2O terdiri atas 3 situasi pengolahan yaitu anaerobik, anoksik, dan oksik. Pada proses anaerobik terjadi proses penampungan *volatile fatty acids* (VFAs) oleh *phosphate-accumulating organisms* (PAOs) yang akan berguna bagi keberlangsungan hidup bakteri. Selanjutnya saat memasuki fase anoksik, nitrat pada air limbah akan dilepaskan dalam bentuk gas nitrogen oleh bakteri denitrifikasi. Sedangkan penurunan kandungan fosfor pada air limbah terjadi pada fase oksik yang dilakukan oleh *phosphate-accumulating organisms* (PAOs). Terjadi sirkulasi air limbah dari fase oksik ke fase anoksik yang berfungsi untuk menjaga kestabilan makanan untuk bakteri yang hidup pada lumpur aktif modifikasi ini (Dewi,2014).

Pada penelitian simulasi penyisihan nutrien menggunakan *software* STOAT, terdapat 2 skenario yang akan dilakukan yaitu menggunakan 2 alternatif teknologi berbeda yaitu *Activated Sludge* dan *Anaerobic Anoxic Oxic* (A2O) pada perencanaan IPAL X. Sebelum dilakukan simulasi, diperlukan perhitungan manual yang bertujuan mendapatkan data-data pendukung seperti nilai *Waste Activated Sludge*, *Recycle Activated Sludge*, dan *Mixed Liquor Recirculation*. Selain data pendukung, data operasional seperti kebutuhan lahan setiap unit, dimensi bak, dan lain-lain. Data-data tersebut diperlukan dalam menjalankan simulasi model yang akan dilakukan. Pada simulasi yang dilakukan akan didapatkan data-data effluent setiap parameter yang di ujikan untuk selanjutnya dilakukan perbandingan untuk mendapatkan perencanaan IPAL X terbaik yang mampu menyisihkan kandungan nutrient lebih baik.

### 3.5.2 Tahapan Simulasi Penyisihan Nutrien

Perangkat lunak yang dikembangkan oleh perusahaan asal Inggris WRC plc ini merupakan salah satu dari sekian perangkat lunak yang mampu mensimulasikan proses pengolahan air limbah dan mampu mengoptimalkan kinerja dari pengolahan air limbah yang telah dirancang (Issa, 2017). Pada penelitian ini, STOAT digunakan dalam mensimulasikan penyisihan nutrien pada IPAL X dengan 2 skenario penelitian yaitu mensimulasikan IPAL X dalam kondisi menggunakan *Activated Sludge* dan metode modifikasi A2O.

Secara umum pengerjaan kedua skenario tidak jauh berbeda, hal yang mendasari perbedaan terletak pada model *Activated Sludge* yang digunakan. Pada skenario pertama, *Activated Sludge* menggunakan model ASAL1 dimana model ini merupakan representatif dari unit *Activated Sludge* konvensional yang digunakan saat ini pada IPAL X. Sedangkan pada skenario kedua, model yang digunakan adalah ASAL5A yang merupakan kode untuk *Activated Sludge* dengan metode *Biological Nutrient Removal* (BNR) yang diyakini mampu menghilangkan kandungan nutrien lebih baik dari *Activated Sludge* model konvensional. Dalam hal ini BNR yang digunakan merupakan metode *Anaerobic-Anoxic-Oxic* (A2O)

Selanjutnya klik “*New Run*” pada “*File*” toolbars yang menandakan lembar kerja siap untuk dikerjakan pada *Running* 1. Masukkan data seperti volume, dimensi unit, dan jenis model pada teknologi yang ada pada lembar kerja dengan cara klik “*Name and Dimension*” di setiap ikon teknologi. Data input influent seperti kadar *Soluble BOD*, *Particulate BOD*, *Volatile Solid*, *Non-Volatile Solid*, *Ammonia*, *Soluble COD*, *Particulate COD*, *Soluble Organic Nitrogen*, *Particulate Organic Nitrogen*, dan Fosfat dimasukkan pada ikon “*Influent*” dengan cara memilih “*Generate Profil : Advanced*” dan hasil input data akan ditunjukkan dalam tampilan tabel seperti yang terlihat pada Gambar 3.10. Tampilan ini menunjukkan bahwa Influent IPAL

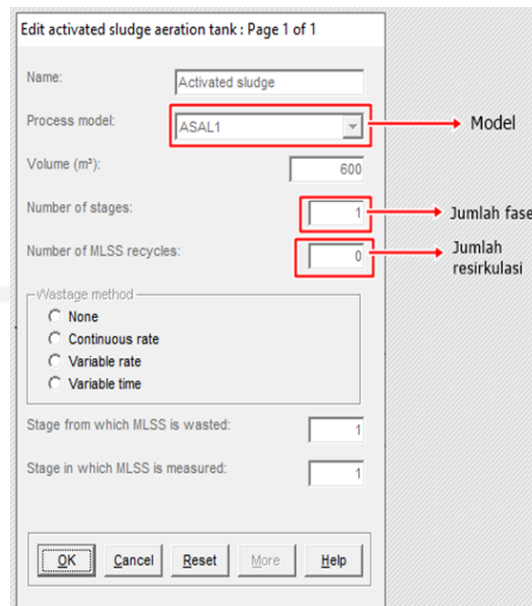
X telah tersimpan dan dapat digunakan untuk mengetahui kemampuannya dalam penyisihan nutrisi.

Influent profile [D:\SKRIPSI REAL 2021\percobaan STOAT\trial (02-04-22).inf]

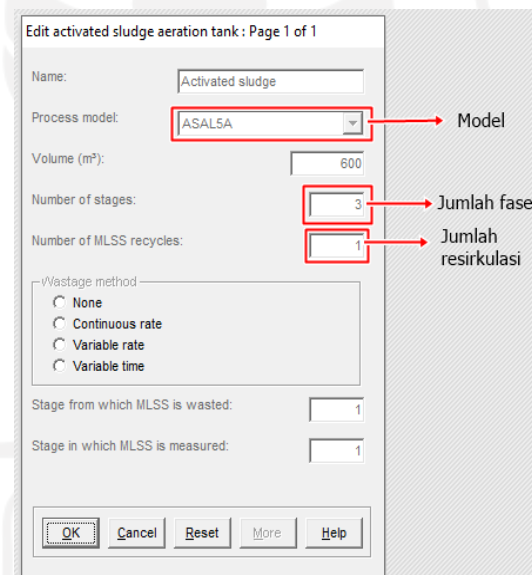
	Elapsed time (h)	Flow (m³/h)	Temperature (deg. C)	pH	Volatile fatty acids (mg COD/l)	Soluble BOD (mg/l)	Soluble inert COD (mg/l)	Particulate BOD (mg/l)	Particulate inert COD (mg/l)	Volatile solids (mg/l)	Non-volatile solids (mg/l)
1	0.000000	86.400000	20.000000	7.000000	7.310000	57.500000	17.500000	70.500000	37.500000	88.700000	42.300000
2	1.000000	86.400000	20.000000	7.000000	7.310000	57.500000	17.500000	70.500000	37.500000	88.700000	42.300000
3	2.000000	86.400000	20.000000	7.000000	7.310000	57.500000	17.500000	70.500000	37.500000	88.700000	42.300000
4	3.000000	86.400000	20.000000	7.000000	7.310000	57.500000	17.500000	70.500000	37.500000	88.700000	42.300000
5	4.000000	86.400000	20.000000	7.000000	7.310000	57.500000	17.500000	70.500000	37.500000	88.700000	42.300000
6	5.000000	86.400000	20.000000	7.000000	7.310000	57.500000	17.500000	70.500000	37.500000	88.700000	42.300000
7	6.000000	86.400000	20.000000	7.000000	7.310000	57.500000	17.500000	70.500000	37.500000	88.700000	42.300000
8	7.000000	86.400000	20.000000	7.000000	7.310000	57.500000	17.500000	70.500000	37.500000	88.700000	42.300000
9	8.000000	86.400000	20.000000	7.000000	7.310000	57.500000	17.500000	70.500000	37.500000	88.700000	42.300000
10	9.000000	86.400000	20.000000	7.000000	7.310000	57.500000	17.500000	70.500000	37.500000	88.700000	42.300000
11	10.000000	86.400000	20.000000	7.000000	7.310000	57.500000	17.500000	70.500000	37.500000	88.700000	42.300000
12	11.000000	86.400000	20.000000	7.000000	7.310000	57.500000	17.500000	70.500000	37.500000	88.700000	42.300000
13	12.000000	86.400000	20.000000	7.000000	7.310000	57.500000	17.500000	70.500000	37.500000	88.700000	42.300000
14	13.000000	86.400000	20.000000	7.000000	7.310000	57.500000	17.500000	70.500000	37.500000	88.700000	42.300000
15	14.000000	86.400000	20.000000	7.000000	7.310000	57.500000	17.500000	70.500000	37.500000	88.700000	42.300000
16	15.000000	86.400000	20.000000	7.000000	7.310000	57.500000	17.500000	70.500000	37.500000	88.700000	42.300000
17	16.000000	86.400000	20.000000	7.000000	7.310000	57.500000	17.500000	70.500000	37.500000	88.700000	42.300000
18	17.000000	86.400000	20.000000	7.000000	7.310000	57.500000	17.500000	70.500000	37.500000	88.700000	42.300000
19	18.000000	86.400000	20.000000	7.000000	7.310000	57.500000	17.500000	70.500000	37.500000	88.700000	42.300000
20	19.000000	86.400000	20.000000	7.000000	7.310000	57.500000	17.500000	70.500000	37.500000	88.700000	42.300000
21	20.000000	86.400000	20.000000	7.000000	7.310000	57.500000	17.500000	70.500000	37.500000	88.700000	42.300000
22	21.000000	86.400000	20.000000	7.000000	7.310000	57.500000	17.500000	70.500000	37.500000	88.700000	42.300000
23	22.000000	86.400000	20.000000	7.000000	7.310000	57.500000	17.500000	70.500000	37.500000	88.700000	42.300000
24	23.000000	86.400000	20.000000	7.000000	7.310000	57.500000	17.500000	70.500000	37.500000	88.700000	42.300000
25	24.000000	86.400000	20.000000	7.000000	7.310000	57.500000	17.500000	70.500000	37.500000	88.700000	42.300000
26	25.000000	86.400000	20.000000	7.000000	7.310000	57.500000	17.500000	70.500000	37.500000	88.700000	42.300000

Gambar 3. 10 Influent Pattern IPAL X pada STOAT 5.0

Perbedaan pengerjaan Skenario 1 dan 2 terletak pada model yang digunakan serta keberadaan *Number of MLSS recycle* dan *Number of stages* yang menandakan ada tidaknya resirkulasi air limbah yang akan dikembalikan ke kolam *Activated Sludge*. Menurut Jannah (2019) unit lumpur aktif konvensional hanya memiliki satu fase pengolahan yaitu aerob dimana bakteri bekerja dalam kondisi membutuhkan oksigen sehingga tidak membutuhkan sirkulasi air limbah pada lumpur aktifnya. Sedangkan Dewi (2014) menjelaskan bahwa modifikasi lumpur aktif dengan metode A2O bekerja dalam 3 fase yaitu anaerobik, anoksik, dan oksik (aerob). Resirkulasi air limbah diperlukan dari fase aerobik dikembalikan ke fase anoksik. Sehingga, ketika kedua skenario diatur pada lembar kerja STOAT 5.0 akan memiliki perbedaan seperti yang ditunjukkan Gambar 3.11 dan Gambar 3.12 ini :



Gambar 3. 11 Jenis model skenario 1 pada STOAT 5.0



Gambar 3. 12 Jenis model skenario 2 pada STOAT 5.

Selain hal diatas, hal yang membedakan keduanya juga terlihat dari input data pada MLSS *recycle* model ASAL5A dengan memasukkan debit MLSS *recycle* serta keterangan perpindahan fase pengolahan. Pada model ASAL5A, nilai MLSS *recycle flowrate* diperlukan sehingga dilakukannya perhitungan secara manual agar mendapat nilai tersebut yaitu sebesar 296.7 m<sup>3</sup>/jam dengan resirkulasi air limbah dari bak ketiga menuju bak kedua (Gambar 3.13).



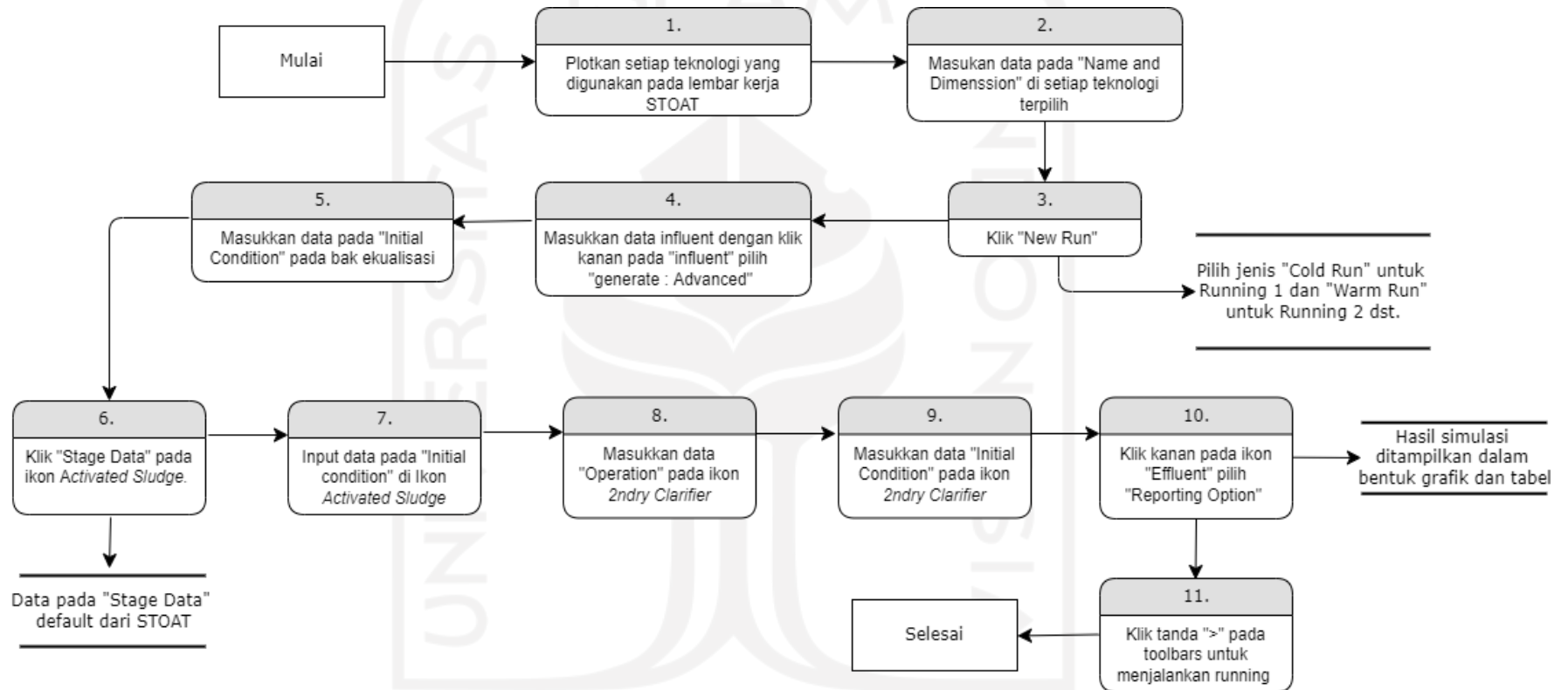
MLSS recycle data

		Recycle 1
1	Stage from where MLSS recycle leaves:	3
2	Stage to which MLSS recycle goes:	2
3	MLSS recycle flowrate (m <sup>3</sup> /h):	296.700

OK Cancel Reset Help

Gambar 3. 13 MLSS recycle data model ASAL5A pada STOAT 5.0

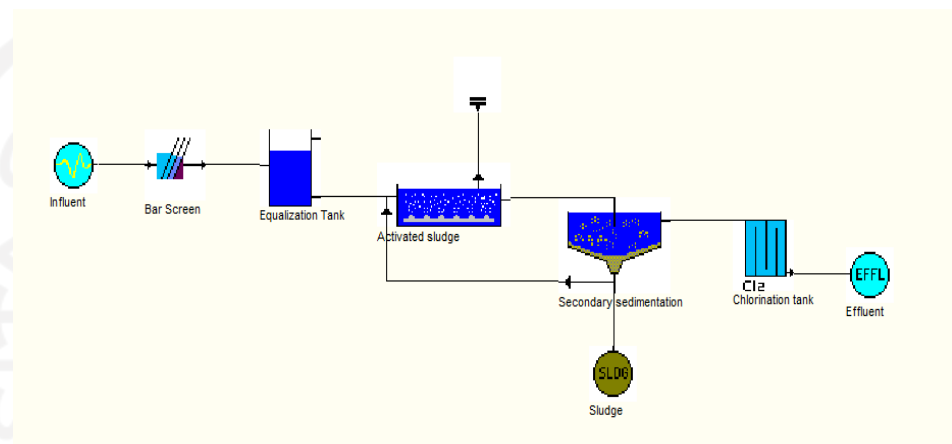
Tahapan selanjutnya adalah memasukkan setiap data inputan pada setiap teknologi. Pada bak ekualisasi data perlu diinputkan pada “Initial Condition” dan untuk unit *Activated Sludge* diperlukan input data pada “Initial Condition” dan “Stage Data”. Sedangkan unit *Secondary Clarifier* memerlukan input data pada “Operation” dan “Initial Condition”. Masing-masing inputan data disesuaikan dengan data yang telah ada maupun data yang diperoleh dari hasil perhitungan manual sebelumnya. Untuk lebih jelasnya, tahapan pengerjaan menggunakan *Software* STOAT dapat dilihat pada diagram alir pengerjaan yang ditunjukkan pada Gambar 3.14 berikut ini :



Gambar 3. 14 Tahapan Pengerjaan *Software* STOAT

Sumber : (Hasil Analisis, 2022)

Data input berasal dari penelitian terdahulu yang mendukung penelitian ini yang diperoleh dengan studi literatur pada beberapa sumber yang mampu mendukung kondisi kualitas air limbah di Indonesia. IPAL yang disimulasikan ditunjukkan dalam lembar kerja STOAT sebagai berikut :



Gambar 3. 15 Layout IPAL X Menggunakan Activated Sludge Melalui STOAT

Sumber : Hasil Analisis (2021)

### 3.6 Data Input STOAT

Software STOAT memerlukan data-data yang perlu dimasukkan ke dalam sistem. Data input terbagi atas data stoikiometri dan data kinetik. Data yang tergolong stoikiometri adalah data lapangan atau penelitian seperti kadar BOD, COD, Amonia, dan lain-lain. Sedangkan data kinetik berupa data pendukung yang diperoleh dari kriteria desain perencanaan IPAL. Data teknis seperti debit sebesar  $84.6 \text{ m}^3/\text{jam}$  diperoleh dari proyeksi air limbah yang dihitung berdasarkan proyeksi penduduk pada daerah pelayanan IPAL X. Sedangkan kualitas influent BOD, COD, dan  $\text{NH}_3$ , Nitrat, Fosfat, TP, dan TN didapatkan dari studi literatur yang dilakukan dari jurnal terdahulu yang dapat mewakili kondisi IPAL X yang akan dirancang. Daftar data input yang diperlukan berada pada Lampiran I. Selain itu, digunakan juga data lain yang berasal dari *trial and error* selama memodelkan teknologi *Activated Sludge* dan A2O menggunakan STOAT pada Tabel 3.10.

Tabel 3. 10 Data Pendukung Model STOAT

No.	Nama	Nilai
1.	Viable Heterotrof (mg/l)	1000
2.	Viable Autotrof (mg/l)	100
3.	Mixed Liquor Suspended Solid (mg/l)	3000
4.	Do set point (mg/l)	2

*Sumber : Hasil Analisis (2021)*

Berdasarkan ketentuan Tutorial WRC yang dikeluarkan perusahaan pencipta *software* STOAT, data kualitas air limbah yang dimiliki akan di input ke dalam model dalam beberapa hal seperti yang tertera pada Tabel 4.8. Salah satu contoh data input parameter COD, dalam mewakilkan nilai COD pada air limbah, STOAT meminta input data inert soluble dan inert particulate nya. Hal ini juga berlaku untuk beberapa parameter yang digunakan pada simulasi STOAT. Data input yang digunakan sama, baik untuk Skenario 1 maupun Skenario 2 pada penelitian ini yang tertera pada Tabel 3.11.

Tabel 3. 11 Data input Parameter STOAT

Parameter	Rumus	Nilai	Satuan
<b>Total COD<sup>b</sup></b>		250	mg/l
Soluble inert COD	$0.07 * \text{Total COD}$	17.5	mg/l
Particulate inert COD	$0.15 * \text{Total COD}$	37.5	mg/l
rbCOD	$0.25 * \text{Total COD}$	62.5	mg/l
<b>Total BOD<sup>c</sup></b>		128	mg/l
Soluble BOD (sBOD)	Total BOD - pBOD	57.5	mg/l
Particulate BOD (pBOD)	$0.5 * \text{Total TSS}$	70.5	mg/l
<b>Total TSS<sup>a</sup></b>		141	mg/l
Volatile Solid	$0.7 * \text{Total TSS}$	98.7	mg/l
Non-Volatile Solid	Total TSS - VS	42.3	mg/l
<b>Total Nitrogen<sup>a</sup></b>		34.81	mg/l
<b>Organik Nitrogen</b>		8.00	mg/l
<i>Soluble Organic nitrogen</i> (ON)	$(0.06 * \text{TN}) + (0.03 * \text{TN})$	3.13	mg/l
<i>Particulate organic nitrogen</i> (sON)	ON - sON	4.87	mg/l
<b>Ammonia</b>		19.5	mg/l
<b>Fosfat<sup>d</sup></b>		13	mg/l

<i>Soluble fosfat</i>	33%*TP	4.29	mg/l
VFA <sup>b</sup>	0.15*rbCOD	9.38	
<b>DO</b>		1	mg/l
<b>Viable heterotrophs</b>		1	mg/l
<b>Viable autotrophs</b>		0.1	mg/l

Sumber : <sup>a</sup>Jr.Martin et al (2021), <sup>b</sup>Henze et al (2008)

<sup>c</sup>Cardona (2018), <sup>d</sup>Li & Brett (2015)

Sedangkan teknologi yang digunakan memiliki permintaan input data yang berbeda tergantung dengan proses yang terjadi pada setiap teknologi tersebut. Data tambahan yang dibutuhkan oleh setiap teknologi IPAL X dalam simulasi model adalah sebagai berikut :

a. Bar Screen

Tabel 3. 12 Data Input Bar screen

Data Input	Nilai	Satuan
Bar spacing	0.025	m

b. Bak Ekualisasi

Tabel 3. 13 Data Input Bak Ekualisasi

Data Input	Nilai	Satuan
Volume	27.80	m <sup>3</sup>
HRT	1	jam
sBOD	57.5	mg/l
pBOD	70.5	mg/l
s. inert COD	17.5	mg/l
p. inert COD	37.5	mg/l
fosfat	6.2	mg/l
sON	3.13	mg/l
pON	4.87	mg/l
DO	1	mg/l

c. Bak *Activated Sludge*

Tabel 3. 14 Data Input Bak *Activated Sludge*

Data Input	Nilai	Satuan
<i>Process Model</i>	ASAL1	-
Volume	275.88	m <sup>3</sup>
MLSS <i>recycle</i>	0	-
<i>Number of stages</i>	1	-
Vol. distribution	1	-
feed distribution	1	-
DO set point	2	mg/l
Maks. <i>Kla</i>	10	-
Min. <i>Kla</i>	2	-
Viable heterotrop	1000	mg/l
viable autotrop	100	mg/l
Amonia	19.5	mg/l
sBOD	57.5	mg/l
pBOD	70.5	mg/l
<i>Soluble fosfat</i>	3.96	mg/l
MLSS	3000	mg/l

d. Bak *Anaerobic-Anoxic-Oxic*

Tabel 3. 15 Data Input Bak *Anaerobic-Anoxic-Oxic*

Data Input	Nilai	Satuan
<i>Process Model</i>	ASAL5A	-
Volume	275.88	m <sup>3</sup>
MLSS <i>recycle</i>	3 to 2	-
<i>Number of stages</i>	3	-
Vol. distribution	1	-
feed distribution	1	-
DO set point	2	mg/l
Maks. <i>Kla</i>	10	-
Min. <i>Kla</i>	2	-
MLSS <i>recycle flow</i>	7.50	m <sup>3</sup> /jam
Viable heterotrop	1000	mg/l
viable autotrop	100	mg/l
Amonia	19.5	mg/l
sBOD	57.5	mg/l
pBOD	70.5	mg/l

<i>Soluble fosfat</i>	3.96	mg/l
MLSS	3000	mg/l

e. Bak Pengendap Sekunder

Tabel 3. 16 Data Input Bak Pengendap Sekunder Secara Umum

Data Input	Nilai	Satuan
<i>Process Model</i>	SSED1	-
<i>Surface area</i>	61.12	m <sup>3</sup>
<i>Depth of tank</i>	3	m
<i>Depth of feed</i>	2.5	m
sBOD	57.5	mg/l
pBOD	70.5	mg/l
<i>Soluble fosfat</i>	3.96	mg/l
MLSS	3000	mg/l
Viable heterotrop	1000	mg/l
viable autotrop	100	mg/l
Amonia	19.5	mg/l

Tabel 3. 17 Data Input Bak Pengendap Sekunder khusus *Activated Sludge*

Data Input	Nilai	Satuan
RAS flow	36.38	m <sup>3</sup> /jam
RAS ratio	1	-
<i>Sludge wastage flow</i>	1.30	m <sup>3</sup> /jam
<i>Wastage pump run time</i>	24	jam
<i>Wastage cycle time</i>	24	jam
<i>MLSS set-point</i>	1	-

Tabel 3. 18 Data Input Bak Pengendap Sekunder khusus *Activated Sludge*

Data Input	Nilai	Satuan
RAS flow	50.93	m <sup>3</sup> /jam
RAS ratio	1	-
<i>Sludge wastage flow</i>	2.33	m <sup>3</sup> /jam

<i>Wastage pump run time</i>	24	jam
<i>Wastage cycle time</i>	24	jam
<i>MLSS set-point</i>	1	-

f. Bak Klorinasi

Tabel 3. 19 Data Input Bak Klorinasi

Data Input	Nilai	Satuan
Volume	42.4	m <sup>3</sup>
<i>Cholrine dosage</i>	2	mg/l

### 3.7 Analisa *Strength, Weakness, Opportunities, Threats* (SWOT)

Selain dilakukannya simulasi model STOAT untuk mengetahui kemampuan IPAL X dengan 2 skenario dalam menyisihkan kandungan nutrisi dari air limbah, upaya lain juga dilakukan dengan menganalisa kedua teknologi tersebut dengan Analisa SWOT yang bertujuan untuk memperkuat hasil penelitian ini. Menurut (Wicaksono, 2017), Analisa SWOT dapat berperan sebagai sebuah *tool* yang mampu menentukan strategi yang dapat dilakukan kedepannya. Dalam penelitian ini merupakan strategi pada IPAL X yang direncanakan. Analisa SWOT merupakan analisa dengan metode semi kuantitatif dimana menganalisa dampak yang akan ditimbulkan dengan *skoring* dan bobot. *Skoring* menunjukkan skala kepentingan dari suatu dampak tersebut, sedangkan pembobotan menunjukkan skala kekuatan dari dampak dengan ketentuan sebagai berikut :

A. *Skoring*

- Angka 1 : tidak mendesak dan tidak penting
- Angka 2 : tidak mendesak tetapi penting
- Angka 3 : mendesak dan penting
- Angka 4 : sangat mendesak dan sangat penting

B. Pembobotan

- Angka 1 : pengaruh tidak kuat
- Angka 2 : pengaruh cukup kuat



- Angka 3 : pengaruh kuat
- Angka 4 : pengaruh sangat kuat

Penentuan *skoring* didasarkan pada skala kepentingan apakah faktor-faktor yang telah ditentukan merupakan suatu permasalahan yang dapat dikategorikan sangat mendesak, mendesak, tidak mendesak atau sangat penting, penting, dan tidak penting. Sedangkan penentuan pembobotan didasarkan pada skala pengaruh dari masalah yang ditentukan. Hasil simulasi penyisihan nutrisi menggunakan STOAT akan dianalisis menggunakan metode SWOT. Menurut (Emet GÜRE, 2017), SWOT mampu menganalisa perencanaan secara strategis karena memiliki 4 komponen penilaian yaitu kekuatan (*strength*), kelemahan (*Weakness*), peluang (*Oppurtunities*) dan ancaman (*Threats*). Semuanya terkandung di dalam matriks SWOT sebagai berikut:

Tabel 3. 20 Matriks SWOT

	<i>Strenght</i>	<i>Weakness</i>
<i>Threats</i>	<p>ST Memanfaatkan potensi untuk menghadapi ancaman</p>	<p>WT Meminimalkan kelemahan untuk menghadapi ancaman</p>
<i>Oppurtunities</i>	<p>SO Memanfaatkan potensi untuk meraih peluang</p>	<p>WO Mengatasi kelemahan untuk meraih peluang</p>

Sumber : (Istiqomah & Andriyanto, 2018)

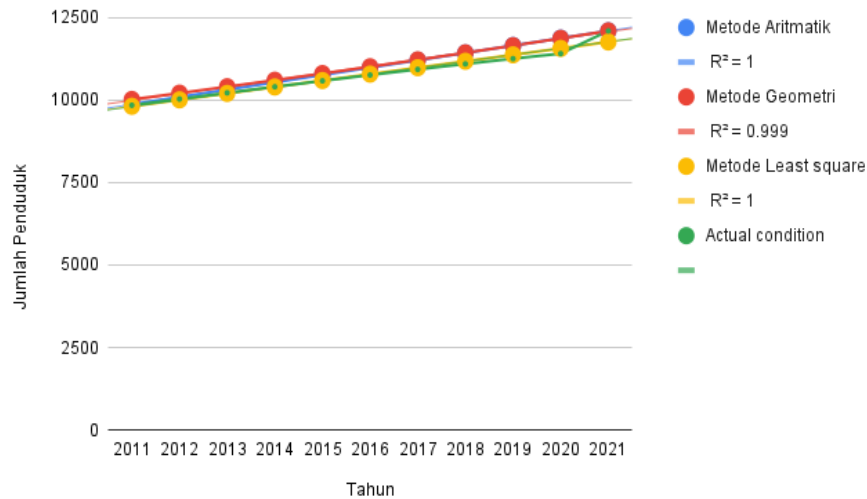
## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Proyeksi Penduduk**

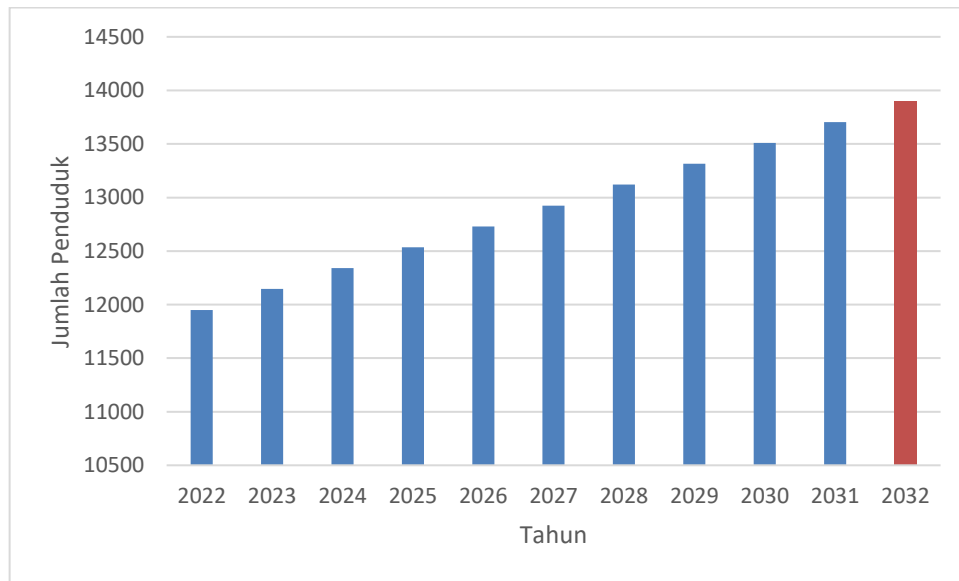
Penelitian ini merencanakan sebuah Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) X dengan dua skenario perencanaan berbeda menggunakan teknologi *Activated Sludge* dan *Anaerobic Anoxic Oxic (A2O)*. Selanjutnya perencanaan akan didukung dengan perbandingan performanya dalam menyisihkan nutrisi dengan *software* STOAT. Penelitian ini dirancang untuk dapat melayani penduduk dengan masa perencanaan 10 tahun.

Periode perencanaan terhitung pada tahun 2022 sampai pada tahun 2032 (10 tahun). Perencanaan ini akan mengasumsikan IPAL X untuk mampu mengolah air limbah yang dihasilkan oleh seluruh penduduk pada daerah perencanaan. Menurut data Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil Kota X, jumlah penduduk daerah perencanaan pada tahun 2021 adalah 12092 jiwa. Perhitungan proyeksi penduduk menggunakan 3 metode yaitu aritmatik, geometrik, dan *least square*. Sehingga di dapatkan perbandingan proyeksi penduduk Wilayah X dengan tiga metode yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Grafik Perbandingan 3 Metode Proyeksi  
Penduduk Daerah Pelayanan IPAL X  
*Sumber : Hasil Perhitungan, (2022)*

Setelah di plotkan pada grafik, dapat dilihat bahwa metode *Least Square* memiliki koefisien korelasi (R) yang sama dengan Metode Aritmatik, sehingga untuk mendapatkan data yang lebih akurat dilakukan perhitungan Standar Deviasi (SD) pada setiap metode. Metode *Least square* terpilih karena memiliki SD terkecil yaitu 672.26 yang ditunjukkan pada **Lampiran II**. Gambar 4.2 menunjukkan hasil proyeksi penduduk Wilayah X dari tahun 2022-2032 dengan tahun perencanaan penelitian yaitu tahun 2032.



Gambar 4. 2 Grafik Hasil Proyeksi Penduduk Daerah Pelayanan IPAL X

*Sumber : Hasil Perhitungan (2022)*

#### 4.2 Debit Air Limbah

Dalam menentukan proyeksi debit air limbah IPAL X, hal yang perlu dilakukan adalah menentukan proyeksi air bersih yang dihasilkan pada tahun perencanaan. Menurut kriteria perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU pada tahun 1996, terdapat 5 kelas yang membagi jumlah penggunaan air bersih berdasarkan jumlah penduduk dan jenis kota. Daerah yang direncanakan tergolong kelas V karena memiliki jumlah penduduk <28.000 jiwa berdasarkan sensus penduduk pada tahun 2021. Karena inilah jumlah penggunaan air bersih di pada daerah perencanaan diasumsikan sebesar 60 l/jiwa/hari.

Perhitungan debit air limbah didasarkan pada area pelayanan, proyeksi pertumbuhan penduduk, dan penggunaan air bersih. Berdasarkan ketentuan perhitungan debit air limbah pada Buku A Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALD-T), air limbah yang dihasilkan tiap jiwa berkisar 60-80% dari penggunaan air bersih per hari. Sehingga didapatkan lah debit puncak air limbah sebesar 0.024 L/detik dari perhitungan proyeksi debit air limbah tahun perencanaan 2032 yang ditunjukkan sebagai Tabel 4.1 berikut ini :

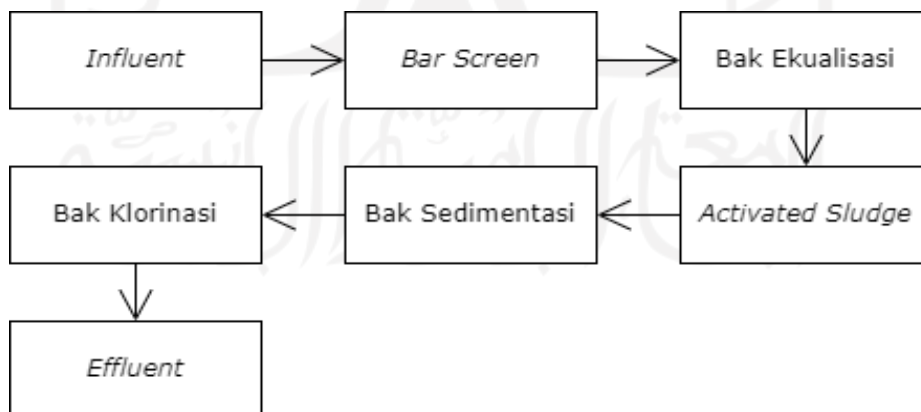
Tabel 4. 1 Hasil Proyeksi Debit Air Limbah

Tahun	$Q$ rata-rata (L/det)	$Q$ infiltrasi (L/det)	$Q$ peak (L/det)
2021	6.72	0.672	0.021
2022	6.64	0.664	0.021
2023	6.75	0.675	0.021
2024	6.86	0.686	0.021
2025	6.96	0.696	0.022
2026	7.07	0.707	0.022
2027	7.18	0.718	0.022
2028	7.29	0.729	0.023
2029	7.4	0.74	0.023
2030	7.51	0.751	0.023
2031	7.61	0.761	0.023
<b>2032</b>	<b>7.72</b>	<b>0.772</b>	<b>0.024</b>

Sumber : Hasil Perhitungan (2022)

#### 4.3 Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)

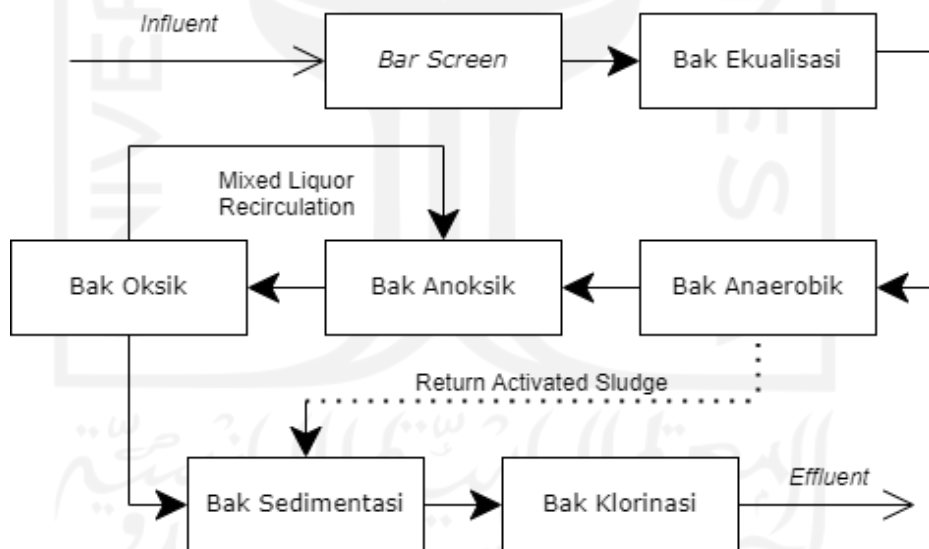
IPAL X dibangun dengan perencanaan menggunakan 2 teknologi berbeda untuk dinilai kemampuannya dalam menyisihkan kandungan nutrisi. IPAL X yang direncanakan mengacu pada Penyusunan Master Plan Pengelolaan Air Limbah (PMPPAL) Kota X, dimana IPAL X Skenario 1 akan menggunakan rangkaian pengolahan air limbah domestik yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 berikut ini :



Gambar 4. 3 Diagram Pengolahan IPAL X Skenario 1

Sumber : Penyusunan Master Plan Pengelolaan Air Limbah (PMPPAL) Wilayah X

Sedangkan pada skenario 2, IPAL X dirancang menggunakan teknologi *Activated Sludge* yang telah di modifikasi dengan metode *Anaerobic-Anoxic-Oxic* (A2O). Metode A2O mampu mengolah kandungan nutrisi pada air limbah dengan menghilangkan kandungan nitrogen melalui proses nitrifikasi dan kandungan fosfor pada proses denitrifikasi. Terdapat 3 fase pengolahan pada proses A2O yang ditunjukkan oleh Gambar 4.4 yaitu fase anaerobik, anoksik, dan oksik dengan sirkulasi aliran kembali air limbah dari fase oksik ke fase anoksik. Keuntungan proses A2O adalah kemampuan *removal* bahan pencemar yang lebih tinggi, kinerja IPAL yang lebih stabil, ekonomis karena pemanfaatan lahan yang baik, dan mampu mengolah nutrisi lebih baik dari lumpur aktif konvensional. Gambar 4.4 menunjukkan diagram pengolahan IPAL X menggunakan teknologi A2O dan sebagai dasar *layout* dalam menjalankan *software* STOAT untuk melihat simulasi penyisihan nutrisi yang telah direncanakan.



Gambar 4. 4 Diagram Pengolahan IPAL X Skenario 2

#### 4.3.1 Beban Pengolahan

Beban pengolahan diperlukan dalam merencanakan IPAL X khususnya dalam menghitung bak pengolahan biologis yang digunakan

yaitu metode Anaerobik-Anoksik-Oksik (A2O). Beban pengolahan yang akan digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 2 Beban Pengolahan Air Limbah

Parameter	Konsentras i (mg/l)	Beban Pengolahan	
		mg/hari	kg/hari
TSS	141	287253.926	287.25
BOD	128	260769.521	260.77
COD	250	509315.471	509.32
Amoniak (NH <sub>3</sub> -N)	19.5	39726.607	39.73
Total Fosfor	12	24447.143	24.45
Total Nitrogen	34.81	70917.086	70.92
Nitrat	7	14260.833	14.26
Nitrit	0.31	631.551	0.63
Fosfat	6.2	12631.024	12.63
Organik nitrogen	8	16298.095	16.30

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2022)

Contoh Perhitungan :

- Beban TSS =  $Q_{\text{peak}} \text{ (m}^3\text{/hari)} \times \text{Konsentrasi TSS (mg/l)}$   
 =  $2037.26 \text{ m}^3\text{/hari} \times 141 \text{ mg/l}$   
 =  $287253.926 \text{ mg/hari}$   
 =  $287.25 \text{ kg/hari}$

**4.3.2 Hasil Perhitungan Manual**

Perhitungan secara matematis merupakan salah satu metode yang dapat dilakukan dalam merencanakan IPAL. Pada penelitian ini, IPAL X dirancang dengan dua metode yaitu menghitung secara manual menggunakan petunjuk teknis dengan kriteria desain yang perlu dipenuhi oleh setiap unit yang akan di rencanakan yang dijelaskan secara terperinci pada Lampiran III. Kemudian data-data dari hasil perhitungan manual akan digunakan sebagai *raw data* yang selanjutnya akan digunakan dalam menjalankan *software* STOAT. Hal ini dikarenakan perencanaan IPAL X pada penelitian tidak lepas dari perhitungan matematis untuk memperoleh hasil simulasi yang nantinya akan menunjukkan kinerja IPAL X yang direncanakan.

A. *Bar Screen*

Berdasarkan perhitungan yang mengacu pada petunjuk teknis Buku B SPLAD, Cipta Karya, Bar Screen yang direncanakan akan digunakan pada IPAL X berjumlah 1 buah dengan lebar screen yaitu

1.25 m, lebar saluran screen yaitu 0.3 m, kedalaman air sebelum screening sebesar 0.41 m, dan kedalaman air setelah screening yaitu 0.3 m. Perencanaan telah mengacu pada kriteria desain (Tchobanoglous, 2003) dengan Headloss maksimum dan headloss diizinkan yang sesuai.

#### B. Bak Ekualisasi dan Pompa

Berdasarkan perhitungan matematis, bak ekualisasi memiliki dimensi P x L x H sebesar 4.5 m x 4.5 m x 1.5 m dengan waktu tinggal selama 1 jam. Luas lahan yang dibutuhkan dalam membangun bak ekualisasi yaitu 18.53 m<sup>2</sup>. Perencanaan Bak Ekualisasi memerlukan adanya tambahan pompa yang berguna untuk mengalirkan air limbah menuju bak CAS dan A2O. Pompa yang digunakan adalah pompa dengan spesifikasi C1463-880 dengan daya pompa sebesar 1.2 kW yang diperoleh dari hasil perhitungan total head dan kapasitas pengolahan.

#### C. *Conventional Activated Sludge* (CAS)

Bak lumpur aktif direncanakan berjumlah satu bak dengan lebar 11 m dan panjang 11 m serta kedalaman sebesar 3 m. Dari perhitungan manual yang dilakukan, Bak Lumpur Aktif memiliki waktu tinggal hidrolis sebesar 4 jam dengan debit WAS yaitu 1.56 m<sup>3</sup>/jam dan debit RAS sebesar 28.30 m<sup>3</sup>/jam. Rasio F/M yang didapatkan yaitu 0.4 dengan efisiensi removal BOD sebesar 72.24% dan kebutuhan oksigen sebesar 187.86 kg O<sub>2</sub>/hari.

#### D. *Anaerobic-Anoxic-Oxic* (A2O)

Berdasarkan perhitungan manual yang dihitung untuk ketiga fase bak A2O, maka akan didapatkan dimensi untuk bak anaerobik yaitu 7 m x 7 m x 3 m dengan HRT sebesar 1.5 jam. Terjadi pengembalian aliran dari bak sedimentasi sekunder menuju bak Anaerobik yang dikenal dengan sebutan *Return Activated Sludge* atau RAS yaitu sebesar 50.93 m<sup>3</sup>/jam. Bak Anoksik memiliki dimensi bak sebesar 4 m x 4 m x 3 m dengan waktu tinggal hidrolis sebesar 0.5 jam. Sedangkan untuk bak Oksik memiliki P x L x H yaitu 14 m x 7 m x 3 m serta HRT selama 3.5 jam. Pada bak oksik terdapat nilai Q WAS yang merupakan debit lumpur yang akan terendap pada bak sedimentasi dari bak oksik sebesar 3.45 m<sup>3</sup>/jam. Serta Q MLR yang menunjukkan debit aliran kembali dari bak oksik menuju bak anoksik sebesar 296.69 m<sup>3</sup>/jam.

#### E. Bak Sedimentasi Sekunder

Mengacu pada petunjuk teknis Qasim (2017), Perencanaan sedimentasi sekunder yang digunakan pada IPAL X berjumlah 1 bak

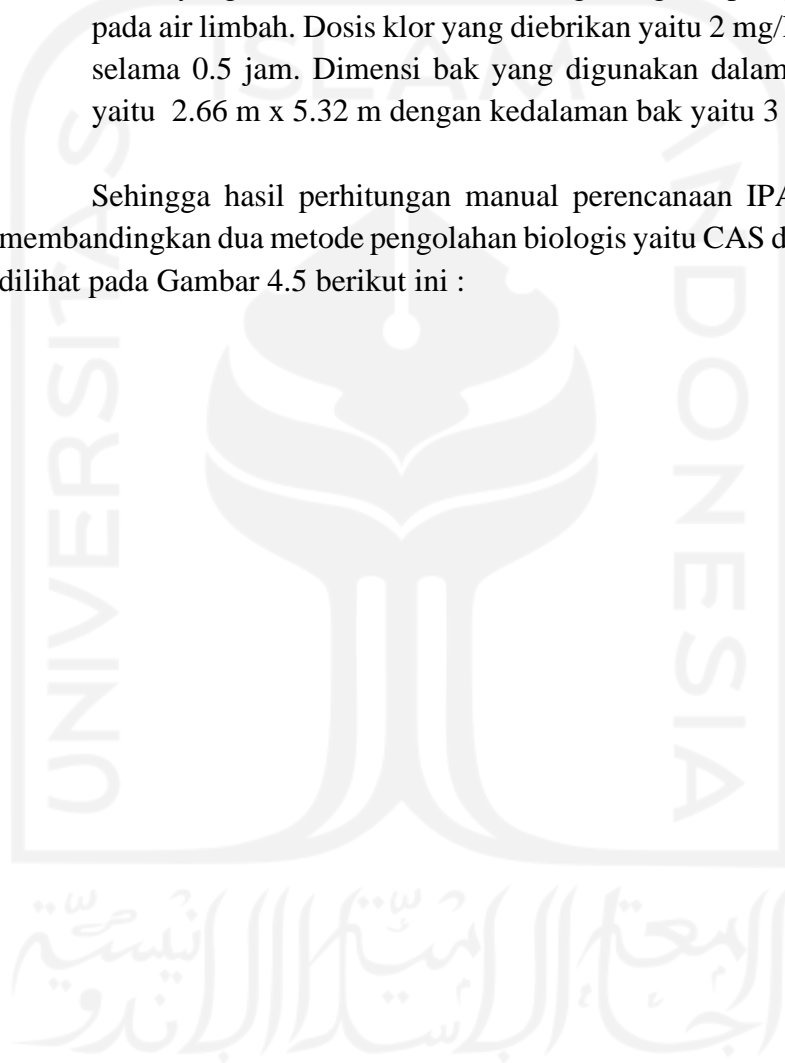


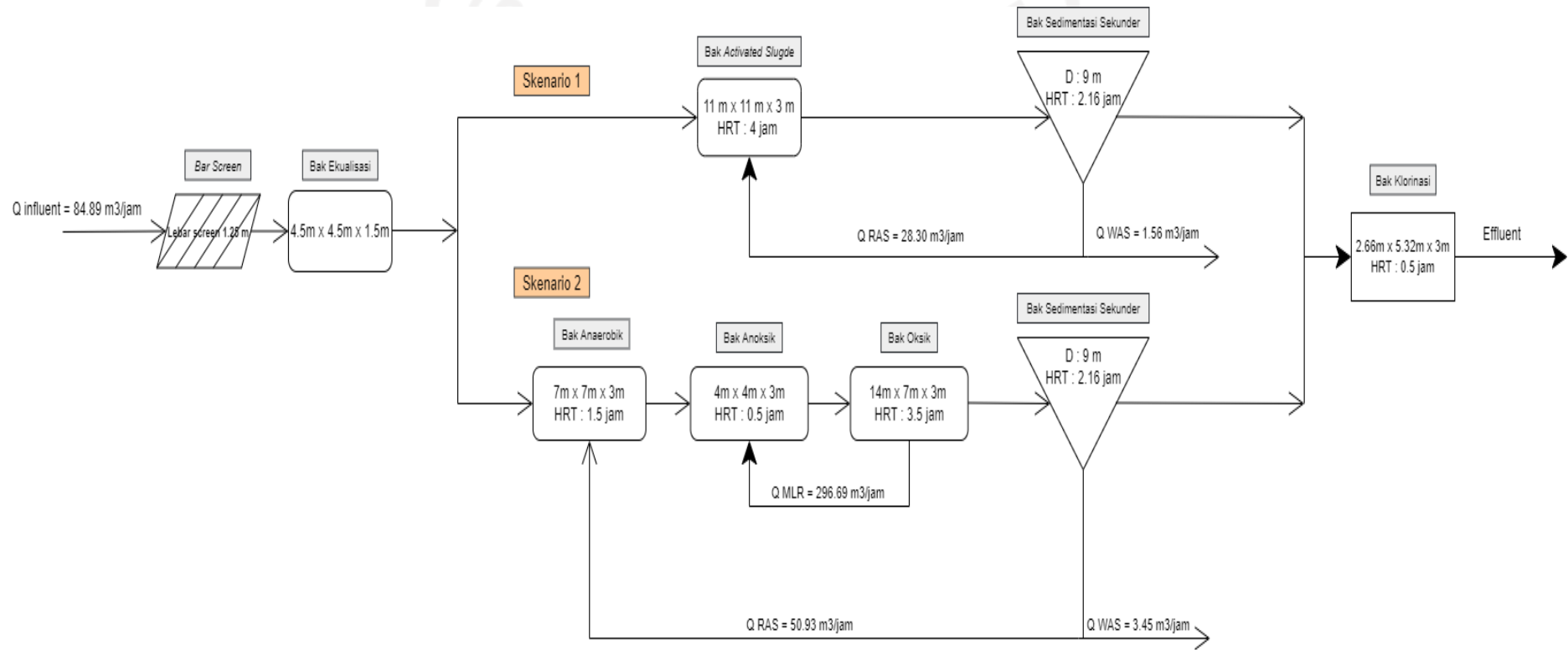
dengan diameter yaitu 9 m dan HRT selama 2.16 jam dengan *Over Flow Rate* sebesar  $33.3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$  yang masih dapat dikatakan sesuai dengan kriteria desain yang digunakan yaitu mengacu pada Buku A SPLDT, Cipta Karya.

#### F. Bak Desinfeksi

Perencanaan Bak Desinfeksi menggunakan jenis klor sebagai zat kimia yang ditambahkan untuk menghilangkan patogen yang ada pada air limbah. Dosis klor yang diebrikan yaitu 2 mg/l dengan HRT selama 0.5 jam. Dimensi bak yang digunakan dalam perencanaan yaitu 2.66 m x 5.32 m dengan kedalaman bak yaitu 3 m.

Sehingga hasil perhitungan manual perencanaan IPAL X dengan membandingkan dua metode pengolahan biologis yaitu CAS dan A2O dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut ini :





Gambar 4. 5 Diagram Alir Hasil Perhitungan Manual

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2022)

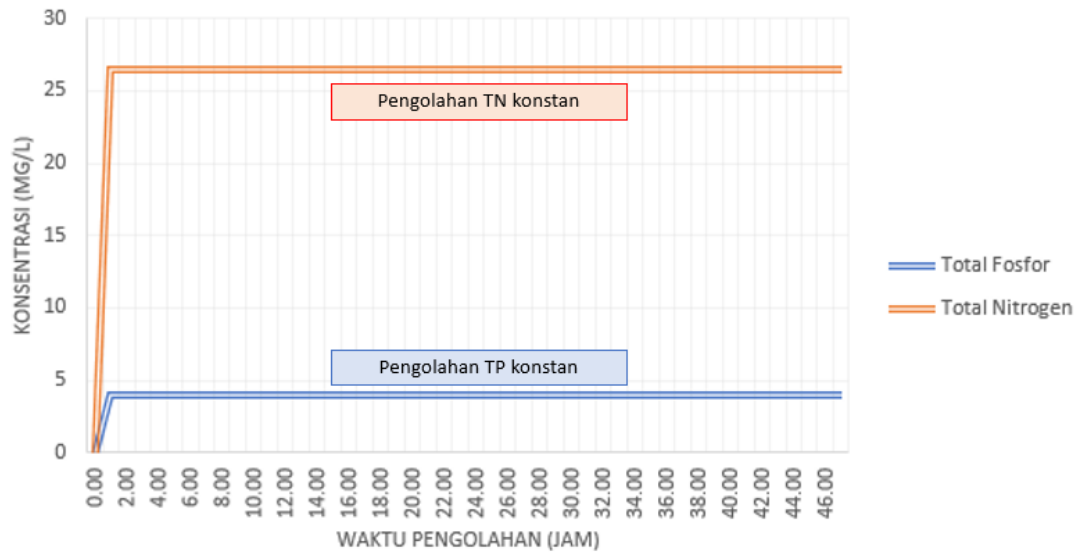
#### 4.4 Hasil Pemodelan Penyisihan Nutrien

Setelah melakukan perhitungan pada tiap unit yang direncanakan pada IPAL X, maka data sekunder tersebut akan digunakan dalam memodelkan kinerja IPAL menggunakan *software* STOAT 5.0. Input data seperti debit air limbah, kualitas air limbah dan data penunjang lainnya pada model skenario 1 dan 2 menggunakan data yang sama. Sehingga didapatkan hasil simulasi dalam 2 skenario berbeda sebagai berikut :

##### 4.4.1 Skenario 1

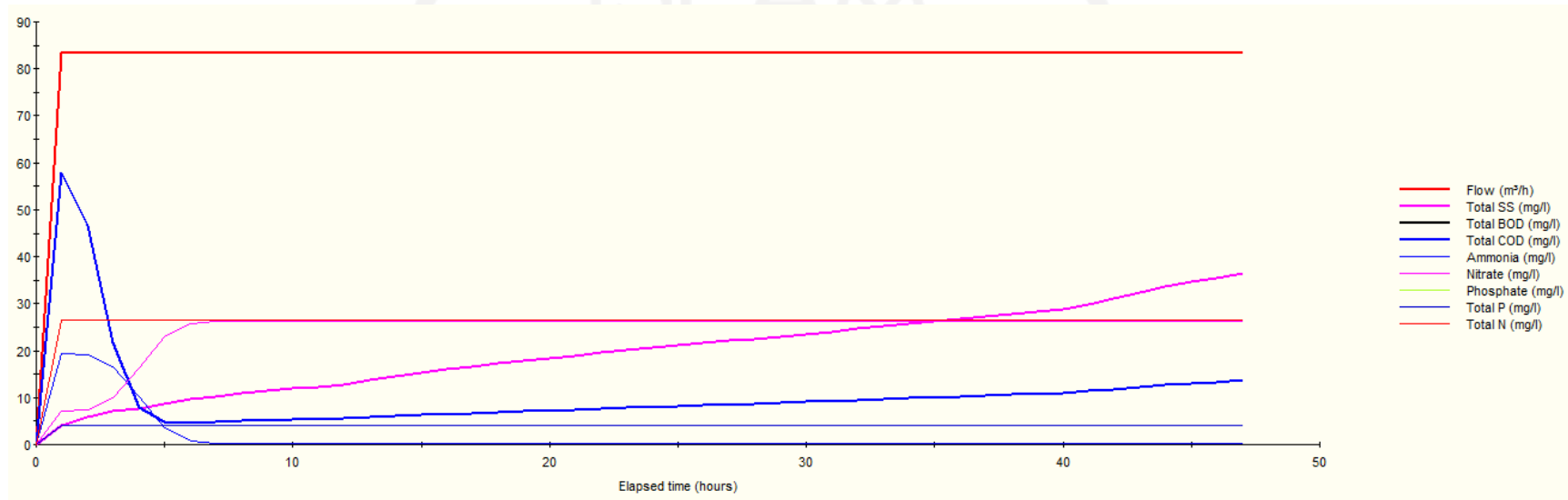
Pada skenario 1, IPAL direncanakan menggunakan pengolahan biologis *Activated Sludge* konvensional. Luas permukaan kolam yaitu 100 m<sup>2</sup> dengan panjang dan lebar 10 m. Satu hal yang menjadi pembeda dari kedua skenario adalah pengolahan biologis yang digunakan. Pada simulasi ini, terdapat parameter yang menjadi perhatian khusus yaitu bagaimana kemampuan *Activated Sludge* konvensional dalam menurunkan kandungan nitrogen dan fosfor pada air limbah. Kendati demikian, parameter lain yang terdapat pada air limbah juga tidak dapat diabaikan begitu saja. Parameter seperti TSS, BOD, dan COD juga diharapkan berada dibawah baku mutu yang telah ditetapkan pada Permen LHK No 68 Tahun 2016.

Dalam skenario ini, teknologi pengolahan biologis yang digunakan adalah *Activated Sludge* dengan input data pada *Software* STOAT yang menghasilkan data *effluent* yang ditunjukkan pada Gambar 4.6. Sedangkan pengolahan selama 48 jam terlampir pada **Lampiran IV** pada penelitian ini. Berdasarkan hasil pengolahan selama 48 jam, TN dan TP hanya mengalami sedikit penurunan selama pengolahan berlangsung dan cenderung konstan. Inilah yang membuktikan bahwa teknologi CAS tidak mampu mengolah kandungan nutrient pada air limbah yang terlihat pada Gambar 4.6 berikut :



Gambar 4. 6 Grafik Pengolahan TN dan TP selama 48 Jam dengan CAS

Sedangkan untuk hasil pengolahan setiap parameter yang diuji menggunakan *software* STOAT akan ditunjukkan pada Gambar 4.7 . Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa teknologi *Conventional Activated Sludge* memiliki *effluent* yang cukup baik untuk parameter TSS, BOD, COD, Amonia karena telah memenuhi persyaratan baku mutu yang diatur pemerintah Indonesia untuk air limbah domestik. Namun untuk parameter lain seperti TN dan TP belum memenuhi baku mutu yang digunakan dalam penelitian ini yaitu berdasarkan *Guidelines* yang ditetapkan beberapa negara di dunia yaitu sebesar <15 mg/l untuk TN dan <1 mg/l untuk TP.



	Flow (m <sup>3</sup> /h)	Total SS (mg/l)	Total BOD (mg/l)	Total COD (mg/l)	Ammonia (mg/l)	Nitrate (mg/l)	Phosphate (mg/l)	Total P (mg/l)	Total N (mg/l)
Mean	81.59	19.87	10.40	10.40	1.67	24.27	3.88	3.88	25.95
Minimum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maximum	83.33	36.38	57.82	57.82	19.47	26.32	3.96	3.96	26.50
Standard deviation	12.03	8.91	9.50	9.50	4.63	5.85	0.57	0.57	3.82
Total mass (kg)		79.491	41.608	41.608	6.696	97.091	15.509	15.509	103.788
Peak load (g/s)		0.842	1.338	1.338	0.451	0.609	0.092	0.092	0.613

Gambar 4. 7 Hasil Simulasi Model STOAT Skenario 1

Hasil simulasi penyisihan nutrien pada air limbah dengan skenario 1 adalah kadar amonia pada air limbah turun dan telah memenuhi baku mutu dari 19.5 mg/l pada influent menjadi 1.67 mg/l. Kandungan COD juga mengalami penurunan dari 250 mg/l menjadi 10.40 mg/l dan telah memenuhi baku mutu untuk COD. Kandungan BOD mengalami penurunan menjadi 10.4 mg/l dari kondisi awal 128 mg/l. Parameter TSS juga berada di bawah baku mutu dengan kadar 19.87 mg/l. Selain hal tersebut, kandungan TP dan TN pada air limbah domestik belum memiliki standar baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah. Kadar TP, TN, dan fosfat pada air limbah dengan teknologi pengolahan *Activated Sludge* konvensional sudah mengalami penurunan apabila dibandingkan dengan kadar yang masuk pada influent. Kecuali untuk parameter Nitrat yang mengalami kenaikan dari data influent yang masuk yaitu 7 mg/l menjadi 24.27 mg/l. Kadar TP pada effluent mengalami penurunan sekitar 2.02%. Sedangkan untuk kadar TN mengalami penurunan sekitar 25,45%. Hasil kadar nutrien pada model ini akan dibandingkan dengan hasil yang akan didapatkan pada skenario 2 dimana teknologi pengolahan biologis *Activated Sludge* konvensional digantikan dengan *Anaerobic-Anoxic-Oxic* (A2O) dan ditunjukkan pada Tabel 4.5 berikut ini :

Tabel 4. 3 Perbandingan Hasil Simulasi Skenario 1 dan Baku Mutu

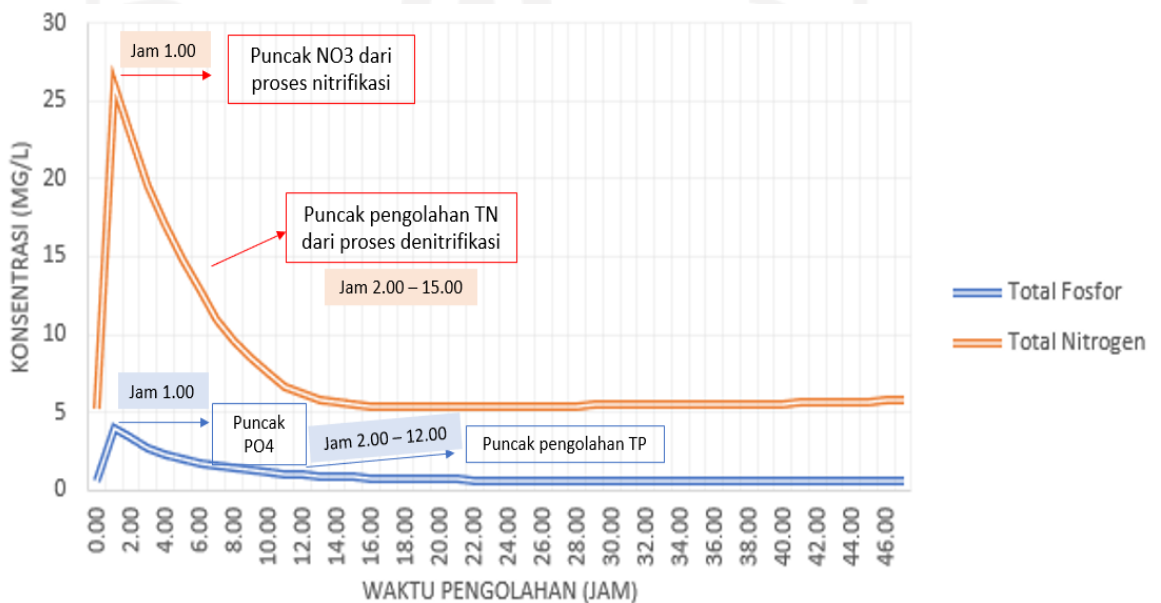
Konsentrasi	Parameter							
	TSS	BOD	COD	Amonia	Nitrat	fosfat	TP	TN
Influent	141	128	250	19.5	7	6.2	12	34.81
Model CAS (mg/l)	19.87	10.4	10.4	1.67	24.27	3.88	3.88	25.95
Baku Mutu (mg/l)	30	30	100	10	-	-	-	-
Status	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	-	-	-	-

Sumber : PerMen LHK No 68 Tahun 2016

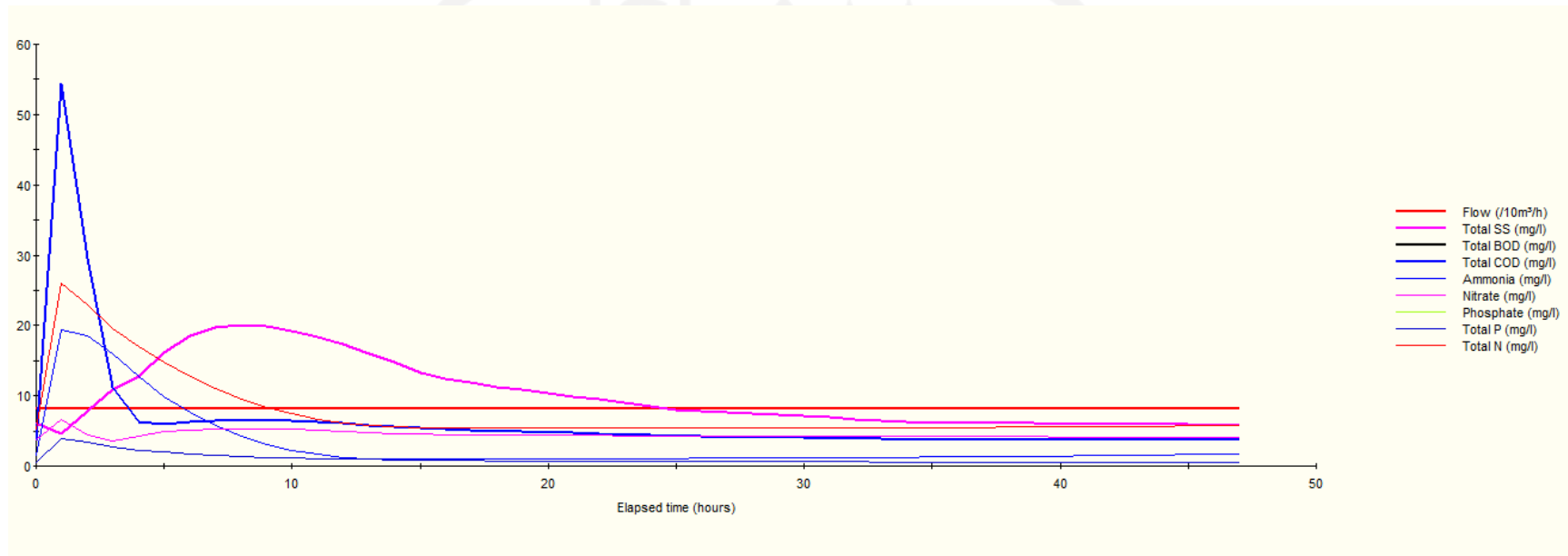
#### 4.4.2 Skenario 2

Pada skenario 2, teknologi pengolahan biologis yang digunakan pada IPAL X adalah *BNR-Anaerobic-Anoxic-Oxic* (A2O). Perlakuan berbeda diberikan pada skenario 2 dengan harapan kadar effluent yang

diperoleh oleh IPAL X akan lebih baik dibandingkan perencanaan IPAL X skenario 1 menggunakan *Activated Sludge* Konvensional. Pada simulasi STOAT yang dijalankan, parameter yang diperhatikan juga sama yaitu TSS, BOD, COD, Ammonia, Nitrat, Fostat, TP, dan TN pada effluent. Gambar 4.7 menunjukkan hasil grafik simulasi yang dilakukan menggunakan *Software* STOAT. Sedangkan pengolahan selama 48 jam terlampir pada **Lampiran IV** pada penelitian ini. Berdasarkan hasil pengolahan selama 48 jam, TN mengalami penurunan yang signifikan selama waktu pengolahan ke 1.00 hingga waktu pengolahan 15.00 dan mengalami penurunan yang hampir sedikit dan hampir konstan selama sisa pengolahan. Sedangkan untuk pengolahan TP signifikan selama pengolahan ke 1.00 hingga jam pengolahan 10.00 dan hampir konstan selama sisa waktu pengolahan yang ditunjukkan pada Gambar 4.8. Selain itu pengolahan tiap jam lebih *detail* dijelaskan pada Tabel IV.2 pada Lampiran IV, bahwa pengolahan selama 24 jam sudah memiliki *effluent* yang berada di bawah baku mutu yang di tetapkan. Namun hasil simulasi selama 24 jam berikutnya menunjukkan parameter air limbah tetap mengalami penurunan walaupun tidak terlalu signifikan selama 24 jam pertama.



Gambar 4. 8 Grafik Pengolahan TN dan TP selama 48 Jam dengan A2O



	Flow (m <sup>3</sup> /h)	Total SS (mg/l)	Total BOD (mg/l)	Total COD (mg/l)	Ammonia (mg/l)	Nitrate (mg/l)	Phosphate (mg/l)	Total P (mg/l)	Total N (mg/l)
Mean	81.42	9.97	6.34	6.34	3.06	4.45	0.97	0.97	7.51
Minimum	81.39	4.59	3.59	3.59	0.95	3.63	0.58	0.58	5.22
Maximum	82.93	20.08	54.31	54.31	19.42	6.63	3.91	3.91	26.05
Standard deviation	0.24	4.72	8.04	8.04	4.54	0.50	0.73	0.73	4.76
Total mass (kg)		38.949	24.788	24.788	11.960	17.381	3.798	3.798	29.341
Peak load (g/s)		0.454	1.228	1.228	0.439	0.150	0.088	0.088	0.589

Gambar 4. 9 Hasil Simulasi Model STOAT Skenario 2



Dari grafik hasil diatas, dapat disimpulkan bahwa kadar semua parameter mengalami penurunan dan berada di bawah baku mutu yang telah ditetapkan pemerintah seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.6. Efisiensi penyisihan dan kadar effluent TSS yaitu 92.93% sebesar 9.97 mg/l, BOD yaitu 95.05 % sebesar 6.34 mg/l, COD yaitu 97.46% sebesar 6.34 mg/l, Ammonia yaitu 84.31% sebesar 3.06 mg/l, Fosfat yaitu 75.51% sebesar 0.97 mg/l, TP yaitu 75.51% sebesar 0.97 mg/l, dan TN yaitu 78.43% sebesar 7.51 mg/l. Sedangkan untuk kadar nitrat juga mengalami penurunan dari 7 mg/l menjadi 4.45 mg/l. Parameter TSS, BOD, COD, Ammonia, dan TP telah memenuhi baku mutu yang ditetapkan oleh Pemerintah Indonesia yang tertuang dalam PerMen LHK No. 68 Tahun 2016 dan kriteria desain oleh Qasim (2018). Sedangkan untuk parameter fosfat belum memiliki standarisasi baku mutu, namun telah mengalami penurunan yang cukup signifikan. Untuk kadar TN pada air limbah belum memenuhi kriteria desain yang ditetapkan Qasim (2017) pada bukannya yaitu <6 mg/l. Kendati demikian, hasil *effluent* untuk TN dan TP telah memenuhi *Effluent Standard* dari beberapa negara yang ditunjukkan pada Pada Tabel 3.9 yaitu dibawah <15 mg/l untuk TN dan <1 mg/l untuk TP.

Tabel 4. 4 Perbandingan Hasil Simulasi Skenario 2

Konsentrasi	Parameter							
	TSS	BOD	COD	Amonia	Nitrat	fosfat	TP	TN
Influent	141	128	250	19.5	7	6.2	12	34.81
Model A2O	9.97	6.34	6.34	3.06	4.45	0.97	0.97	7.51
Baku Mutu (mg/l)	30	30	100	10	-	-	<2*	<6*
Status	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	-	-	-	-

Sumber : \*PerMen LHK No 68 Tahun 2016, \*\*Qasim (2018)

#### 4.5 Perbandingan Hasil Simulasi Nutrient CAS vs A2O

Berdasarkan hasil simulasi yang didapatkan pada Skenario 1 dan Skenario 2, parameter TN dan TP menjadi acuan yang akan dibandingkan dalam menentukan performa kinerja IPAL X yang lebih baik. Menurut (Rus et al., 2013), Total Nitrogen (TN) merupakan akumulasi dari nitrat, nitrit, ammonia, dan organik

nitrogen pada air limbah. Pada skenario 1, TN mengalami penurunan dari 34.81 mg/l pada inlet menjadi 25.95 mg/l dengan efisiensi penurunan sebesar 25.45%. Pada saat TN turun, kadar Amonia (NH<sub>3</sub>) turut mengalami penurunan dengan efisiensi sebesar 91.44%. Sedangkan kadar Nitrat (NO<sub>3</sub>) mengalami kenaikan dari 7 mg/l menjadi 24.27 mg/l. Hal ini dapat terjadi dikarenakan bak *Activated Sludge* bekerja dalam kondisi aerobik (oksik). Pada kondisi ini, proses yang terjadi merupakan proses nitrifikasi dengan reaksi kimia sebagai berikut :

← **Aerobik** →



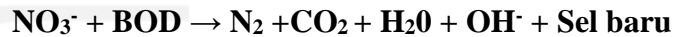
Pada reaksi kimia diatas, kadar Ammonia (NH<sub>3</sub>) di air limbah akan dioksidasi dan berubah menjadi nitrit (NO<sub>2</sub>) pada kondisi aerobik dengan bantuan bakteri Nitrosomonas. Bakteri ini termasuk dalam golongan bakteri autotrof dimana memanfaatkan senyawa anorganik (Ammonia) sebagai sumber energi. Karena inilah kandungan Amonia pada air limbah mengalami penurunan yang cukup tinggi yaitu sebesar 91.44%. Kemudian Nitrit (NO<sub>2</sub>) akan teroksidasi menjadi Nitrat (NO<sub>3</sub>). Hal inilah yang membuat kandungan Nitrat (NO<sub>3</sub>) mengalami kenaikan yang cukup besar yaitu sebesar 24.27 mg/l. (Ari, 2010). Sedangkan dalam proses pengubahan konsentrasi Nitrat (NO<sub>3</sub>) menjadi nitrogen (N<sub>2</sub>) yang akan dilepaskan ke udara, bakteri heterotrof memerlukan kondisi *anoxic (anaerobic)* dalam bekerja. Kondisi ini hanya didapatkan dari proses denitrifikasi yang memiliki reaksi kimia sebagai berikut :

← **Kondisi Anoksik** →

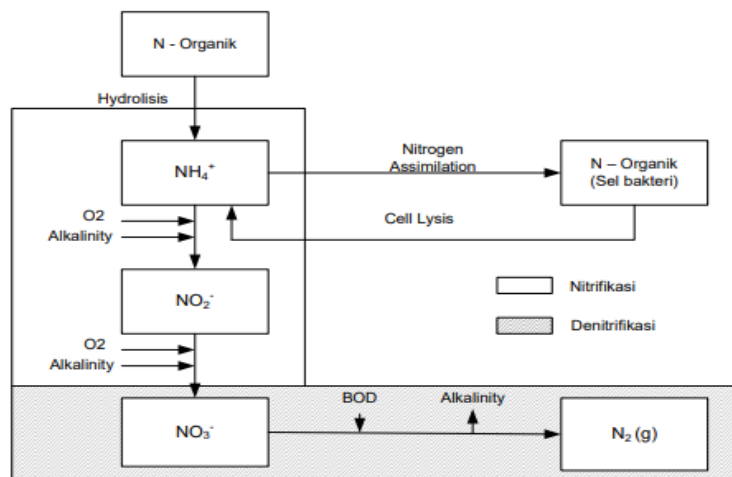


Kendati bak *Activated Sludge* hanya memiliki fase pengolahan aerobik, penurunan kadar TN tetap dapat terjadi namun dengan efisiensi yang cukup kecil sebesar 25.45%. Hal ini terjadi ketika *effluent* dari bak *Activated Sludge* masuk kedalam bak pengendap sekunder. Pada proses ini, *effluent* yang semula kaya akan oksigen (kondisi aerobik) lama kelamaan akan mengalami penurunan DO ketika berada pada bak pengendap sekunder. Sehingga kondisi aerobik akan beralih

menjadi kondisi anoksik dimana proses denitrifikasi dapat terjadi. Pada kondisi inilah terjadi *reverse* kondisi air limbah yaitu Nitrat ( $\text{NO}_3$ ) menjadi Nitrit ( $\text{NO}_2$ ) yang kemudian akan melepaskan Nitrogen ( $\text{N}_2$ ) ke udara. Bakteri *Pseudomonas* mengonsumsi kandungan BOD pada air limbah dan menghasilkan *alkalinity* dan biomassa baru.



Peristiwa ini dapat berdampak terhadap kinerja bak pengendap sekunder dalam menurunkan padatan pada air limbah. Ketika air limbah berada pada kondisi denitrifikasi, maka akan menciptakan gelembung gas nitrogen yang naik dengan membawa biomassa sehingga mengambang pada permukaan bak pengendap sekunder dan berpotensi mengalami *Sludge rising*. Hal ini tidak efektif jika dibiarkan karena membutuhkan perawatan yang lebih untuk memastikan lumpur yang terbentuk di permukaan yang kaya akan biomassa tidak tinggal lama pada *clarifier* (Feng *et al*, 2011). Selain itu, hal yang juga perlu diperhatikan adalah laju *Return Activated Sludge* (RAS) agar tidak mengalami penurunan yang drastis. Gambar 4.10 merupakan diagram alir proses nitrifikasi dan denitrifikasi yang terjadi selama air limbah melewati reaktor *Activated Sludge* dan bak pengendap sekunder:



Gambar 4. 10 Diagram Alir Proses Nitrifikasi-Denitrifikasi

(Sumber : Ari, 2010)

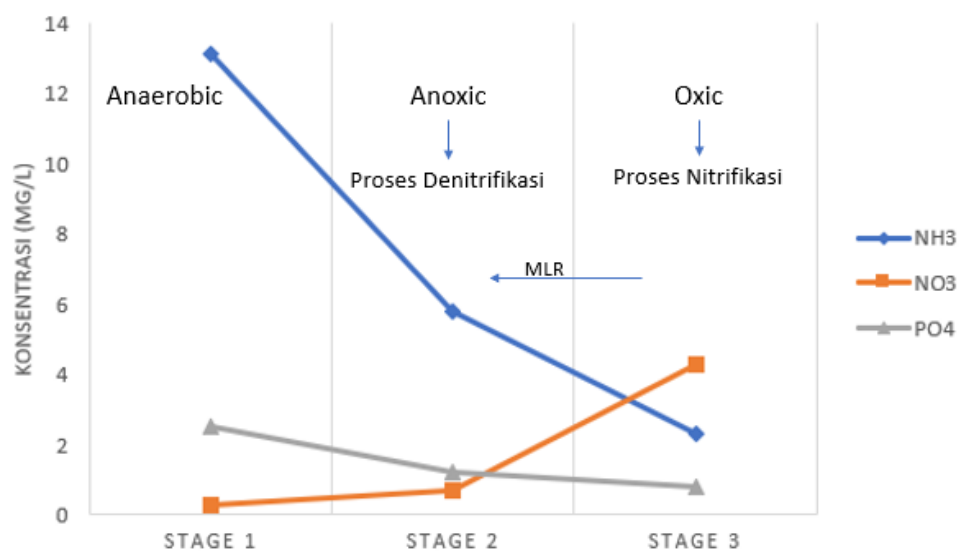
Dari hasil simulasi yang didapatkan untuk skenario 1, terjadi sedikit penurunan TP dari kondisi awal. Hal ini terjadi dikarenakan *Activated Sludge* konvensional hanya memiliki satu fase aerobik dimana seharusnya penyisihan TP pada air limbah terjadi dari fase anaerobik ke fase aerobik (oksik). Fase ini hanya berlangsung sebentar yaitu saat aliran kembali dari bak pengendap sekunder menuju bak *Activated Sludge* yang dikenal dengan istilah *Return Activated Sludge* (RAS).

Ketika hasil ini dibandingkan dengan skenario 2 menggunakan 3 fase bak *Activated Sludge* (*Anaerobic-anoxic-oxic*), konsentrasi TN dan TP mengalami penurunan yang lebih baik dari skenario 1. Kadar TN pada air limbah turun menjadi 7.51 mg/l dengan efisiensi removal sebesar 78.43%. Selain kadar TN, kandungan ammonia juga mengalami penurunan dari kondisi inlet dengan efisiensi sebesar 84.31%. Ketika dibandingkan dengan hasil simulasi Skenario 1, kadar amonia Skenario 1 lebih baik dibandingkan Skenario 2. Hal ini terjadi karena air limbah terlebih dahulu melewati 1 fase bak anaerobik dan 1 fase anoksik dimana fase-fase ini merupakan kondisi tanpa adanya oksigen. Pada fase anaerobik dan anoksik tidak terjadi proses nitrifikasi dan proses ini hanya berlangsung di bak aerobik yang mana merupakan bak terakhir pada proses A2O. Sehingga amonia yang turun tidak serendah pada bak lumpur aktif konvensional yang hanya terdiri dari satu fase aerobik sehingga langsung dapat mengalami proses nitrifikasi di dalamnya.

Kemudian kandungan Nitrat ( $\text{NO}_3$ ) mengalami penurunan lebih baik dibandingkan pada Skenario 1, hal ini terjadi karena proses A2O memiliki proses *return* yang dikenal dengan sebutan *Mixed Liquor Recycle* (MLR) yang merupakan aliran kembali dari bak aerobik menuju bak anoksik dengan membawa kandungan Nitrat ( $\text{NO}_3$ ) dan dapat digunakan oleh mikroba sebagai pengganti oksigen dalam mereduksi BOD. Laju MLR perlu diperhatikan, jika terlalu tinggi maka DO pada bak aerobik akan terbawa dalam jumlah yang banyak dan mikroorganisme akan mengonsumsi DO dibandingkan mengonsumsi Nitrat ( $\text{NO}_3$ ) yang akan membuat proses denitrifikasi terhambat (Sprague & Suite, 2014). Menurut Buku SPLD-T, dalam mereduksi Nitrat ( $\text{NO}_3$ ) menjadi Nitrogen ( $\text{N}_2$ ), konsentrasi DO haruslah

mendekati 0. Faktor penggunaan kandungan Nitrat ( $\text{NO}_3$ ) inilah yang membuat hasil *effluent* Skenario 2 lebih baik dibandingkan Skenario 1.

Proses A2O memiliki kandungan *effluent* TP lebih baik dibandingkan Skenario 1 yang menggunakan *Activated Sludge*. Proses penyisihan fosfor dalam aliran limbah dibantu oleh bakteri *Polyphosphate-Accumulating Organisms* (PAO) yang bekerja dalam fase aerobik maupun anoksik. Pada fase anoksik, PAOs menggunakan polifosfat sebagai sumber energi dan melepaskan senyawa fosfor dalam bentuk orto-phosphat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Kemudian pada fase aerobik, PAOs akan menggunakan orto-phosphat dalam metabolisme dan mereduksi BOD pada air limbah dan menghasilkan sel baru. Selanjutnya fosfor yang terkandung di dalam mikroorganisme (biomassa) akan menuju bak pengendap sekunder dan keluar melalui alian *Waste Activated Sludge* (WAS) (Ekama, 2011). Penyisihan fosfat ( $\text{PO}_4$ ) terjadi dari stage 1 (fase anaerobik) hingga fase stage 3 yang ditunjukkan pada Gambar 4.11 dibawah ini :



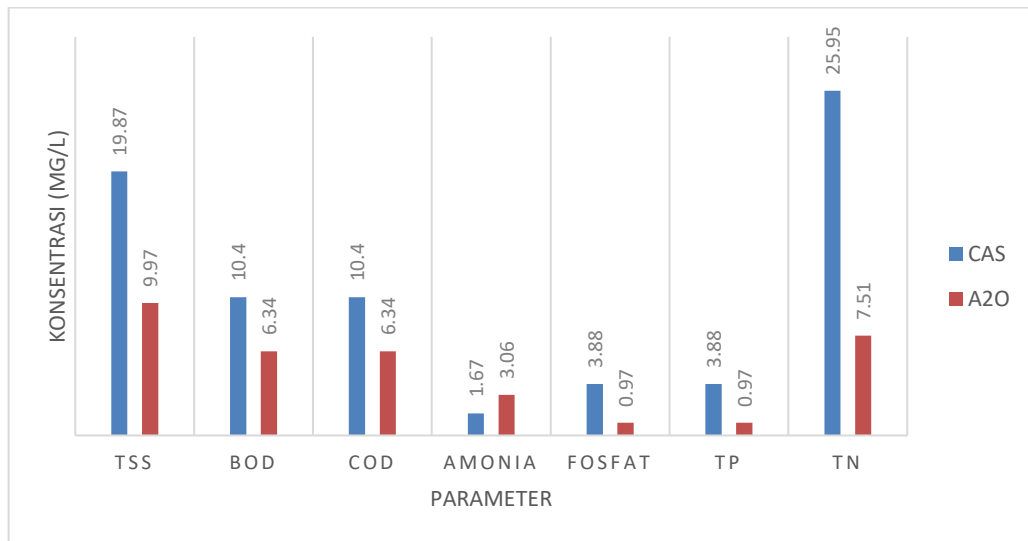
Gambar 4. 11 Profil Pengolahan Penyisihan TN dan TP pada A2O

(Sumber : Hasil Simulasi STOAT, 2022)

Berdasarkan gambar diatas pola pengolahan Amonia, Nitrat, dan Fosfat pada *Software* STOAT akan mewakili pola penyisihan TN dan TP pada air limbah. Hal ini dikarenakan STOAT belum mampu menunjukkan penyisihan TN secara langsung, sehingga penurunan TN pada air limbah dapat dilihat dari pola

pengolahan amonia dan nitrat sedangkan penurunan TP dapat dilihat dari pola penyisihan fosfat. Pada stage 1 terjadi penurunan Ammonia secara signifikan hal ini dikarenakan adanya proses anammox pada fase Anaerobik. Proses penyisihan amonia terjadi karena adanya oksidasi amonia oleh nitrit sebagai penerima elektron oleh bakteri autotrof dan dilepaskan menjadi gas nitrogen. Hal inilah yang disinyalir menjadi alasan terjadi penurunan TN pada zona anerob ini. Sedangkan pada stage 3 terjadi penyisihan TN oleh peristiwa nitrifikasi dimana penggunaan Amonia oleh bakteri dan mengubahnya menjadi Nitrat ( $\text{NO}_3$ ). Kemudian terdapat aliran kembali dari stage 3 menuju stage 2 yang menyebabkan berlangsungnya peristiwa denitrifikasi yang mana Nitrat ( $\text{NO}_3$ ) yang dihasilkan pada stage 3 akan teroksidasi menjadi gas nitrogen ( $\text{N}_2$ ) dan dilepaskan ke udara (Nindrasari, 2011). Karena inilah TN dapat mengalami penurunan yang cukup signifikan selama proses yang berlangsung menggunakan teknologi A2O.

Berdasarkan kebutuhan oksigen yang diperlukan oleh bak *Conventional Activated Sludge* dan bak *Anaerobic-Anoxic-Oxic*, didapatkan hasil jika oksigen yang diperlukan oleh mikroba dalam bak aerobik pada A2O sebesar 202,66 kg  $\text{O}_2$ /hari sedangkan untuk bak CAS sebesar 86,8 kg  $\text{O}_2$ /hari. Dinilai dari kebutuhan oksigen dapat disimpulkan bahwa bak A2O membutuhkan energi yang lebih besar dibandingkan bak CAS, hal ini didukung dengan hasil proses nitrifikasi yang lebih baik pada bak ini. Sedangkan ketika ditilik dari *SND efficiency (%)* yang merupakan besar efisiensi dari aktivitas mikroba dalam menghilangkan total nitrogen pada air limbah melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi menunjukkan bahwa, %SND untuk bak A2O lebih baik dari bak CAS yaitu sebesar 77.17% sedangkan untuk CAS sebesar 36.55%. Hasil ini apabila dibandingkan dengan *efficiency removal* untuk TN pada bak A2O dan CAS menunjukkan hasil yang linear dimana bak A2O memang memiliki kemampuan penyisihan TN lebih baik apabila dibandingkan dengan bak CAS yang ditunjukkan oleh Gambar 4.12 yang perbandingan hasil simulasi STOAT terhadap kedua skenario :



Gambar 4. 12 Perbandingan Hasil Simulasi STOAT Skenario 1 dan 2

*Sumber : Hasil Analisa, 2022*

#### 4.6 Analisa SWOT IPAL X dengan Metode CAS vs A2O

Dalam menganalisa kedua pengolahan biologis yang direncanakan menggunakan Analisa SWOT, perlu dilakukannya perhitungan skoring dan pembobotan. Penentuan *skoring* didasarkan pada skala kepentingan apakah faktor-faktor yang telah ditentukan merupakan suatu permasalahan yang dapat dikategorikan sangat mendesak, mendesak, tidak mendesak atau sangat penting, penting, dan tidak penting. Sedangkan penentuan pembobotan didasarkan pada skala pengaruh dari masalah yang ditentukan. Berikut merupakan faktor internal dan eksternal dari perencanaan IPAL X yang dilakukan pada penelitian ini :

##### A. Faktor Internal

- Kemampuan menghilangkan bahan organik dan nutrient oleh teknologi pengolahan biologis
- Biaya operasional dan investasi teknologi
- Konsumsi energi yang diperlukan oleh teknologi dalam beroperasi dapat bersumber dari mixer yang digunakan dan aerasi yang dibutuhkan



- Penggunaan lahan untuk pembangunan unit teknologi pada perencanaan IPAL X

B. Faktor Eksternal

- Keinginan masyarakat umum untuk memiliki lingkungan sanitasi yang lebih baik khususnya dalam pengolahan air limbah rumah tangga yang dihasilkan.
- Keadaan sanitasi lingkungan memburuk, salah satunya oleh peristiwa Eutrofikasi akibat tingginya kadar nutrient pada lingkungan perairan.
- Regulasi pemerintah terkait pengolahan air limbah domestik yang tertera pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
- Pemahaman pekerja operator terkait teknologi yang digunakan
- Perhatian pemerintah terhadap perbaikan regulasi Baku Mutu untuk *effluent* IPAL Domestik khususnya terkait Total Nitrogen dan Totas Fosfor.

Berdasarkan identifikasi dari faktor internal dan faktor eksternal diatas maka dapat diketahui analisa SWOT terhadap teknologi *Conventional Activated Sludge* dan *Anaerobic Anoxic Oxidation* yang ditunjukkan pada Tabel 4.5 berikut ini :

Tabel 4. 5 Identifikasi Faktor Internal dan Eksternal Skenario 1

No	Faktor Internal	Faktor Eksternal
1	<b>Kemampuan menghilangkan bahan organik :</b>	<b>Keinginan masyarakat untuk lingkungan sanitasi yang lebih baik</b>
	- COD (55%), BOD (61%), TSS (81%), Total Coliform (94%), dan Fecal Coliform (85%) ( <i>Sukumaran, 2015</i> )	- Masyarakat bertanggung jawab dan memperhatikan kepentingan orang lain dengan memperbaiki sanitasi daerah tempat tinggal dengan setuju di bangunnya IPAL Komunal setempat ( <i>Siregar, 2010</i> )
	- COD (93.4%), BOD (93.4%), TSS (92.66%) ( <i>Ghozali, 2021</i> )	
2	<b>Biaya operasional dan investasi</b>	<b>Baku Mutu dalam Permen LHK No 68 Tahun 2018</b>
	- Biaya investasi \$27.900.000 dan biaya operasional \$256.000 ( <i>Arif, 2020</i> )	- Baku mutu untuk TN dan TP belum di atur dalam peraturan Indonesia
3	<b>Konsumsi energi</b>	<b>Timbulnya peristiwa Eutrofikasi</b>



	- 0.30 kWh/m <sup>3</sup> hingga 0.65 kWh/m <sup>3</sup> ( <i>Siatou, 2020</i> )	- Peristiwa eutrofikasi akibat tingginya kadar TN dan TP pada badan air ( <i>Yusanti, 2014</i> )
	- 0.27 hingga 1.89 kWh/m <sup>3</sup> ( <i>Araya, 2021</i> )	
4	<b>Produksi lumpur di akhir pengolahan</b>	<b>Permintaan Masyarakat akan pembangunan IPAL Domestik dengan biaya rendah</b>
	- Lumpur yang dihasilkan cukup tinggi ( <i>Buku B, PUPR</i> )	

Sedangkan untuk skenario 2 menggunakan teknologi A2O memiliki hasil identifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.6 berikut ini :

Tabel 4. 6 Identifikasi Faktor Internal dan Eksternal Skenario 2

No	Faktor Internal	Faktor Eksternal
1	<b>Kemampuan menghilangkan bahan organik :</b>	<b>Keinginan masyarakat untuk lingkungan sanitasi yang lebih baik</b>
	- COD (88.79%), BOD (95.7%), TSS (96.38%), Total N (85.32%), dan Total P (92.83%) ( <i>Hedairi, 2015</i> )	- Masyarakat bertanggung jawab dan memperhatikan kepentingan orang lain dengan memperbaiki sanitasi daerah tempat tinggal dengan setuju di banggunya IPAL Komunal setempat ( <i>Siregar, 2010</i> )
	- COD (85.56%), Total N (92.07%), dan Total P (81.24%) ( <i>Wang, 2011</i> )	
2	<b>Biaya operasional dan investasi</b>	<b>Baku Mutu dalam Permen LHK No 68 Tahun 2018</b>
	- Biaya investasi \$71.400.000 dan biaya operasional \$5.470.000 ( <i>EPA, 2021</i> )	- Baku mutu untuk TN dan TP belum di atur dalam peraturan Indonesia
3	<b>Konsumsi energi</b>	<b>Kemampuan penyisihan TN dan TP pada air limbah</b>
	- 2.2E+6 kWh/tahun ( <i>EPA, 2021</i> )	- A2O mampu menyisihkan kandungan nitrogen dan fosfor pada air limbah akibat peristiwa Nitrifikasi dan Denitrifikasi ( <i>PSATS, 2014</i> )
4	<b>Kebutuhan lahan</b>	<b>Kesulitan pemahaman dan pengoperasian teknologi A2O</b>
	- Kebutuhan lahan cukup besar dikarenakan menggunakan tiga fase bak yaitu anaerobik, anoksik, oksik ( <i>Dewi, 2014</i> )	

Setelah dilakukannya penjabaran masalah yang akan dianalisa menggunakan Analisa SWOT seperti yang tertera pada tabel diatas. Maka selanjutnya akan dilakukan penilaian terhadap skala kepentingan dan kekuatan dari tiap-tiap masalah yang telah di identifikasi. Berdasarkan ketentuan *skoring* dan

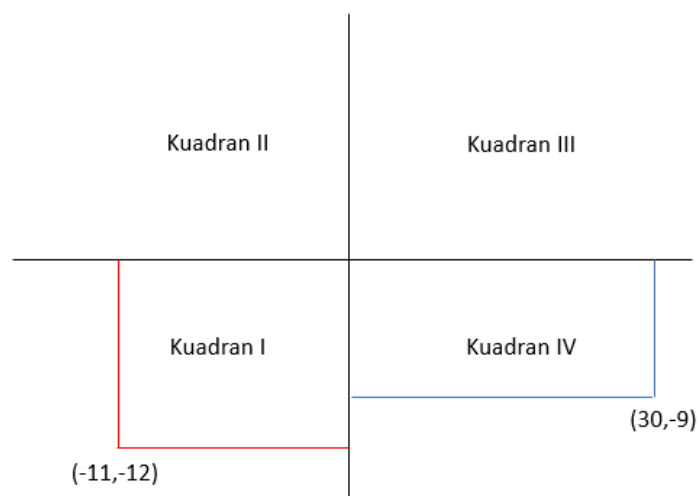
pembobotan yang dijelaskan pada **Sub Bab 3.6**. Sehingga ketika dilakukan Analisa SWOT pada skenario 1 yaitu IPAL X dengan teknologi *Activated Sludge* menunjukkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4. 7 Analisa SWOT Skenario 1 IPAL X

No	Strengths (Kekuatan)	Skor	Bobot	Total
1	Menghilangkan bahan organik	4	3	12
2	Biaya investasi murah	3	2	6
3	Menurunkan padatan tersuspensi	4	2	8
<b>Total Strength</b>				26
No	Weakness (Kelemahan)	Skor	Bobot	Total
1	Tidak mampu menyisihkan nutrient	4	4	16
2	Kebutuhan lahan besar	3	2	6
3	Kebutuhan energi besar	3	2	6
4	Biaya operasional besar	3	3	9
<b>Total Weakness</b>				37
<b>Selisih S-W</b>				-11
No	Oppurtunities (Peluang)	Skor	Bobot	Total
1	Permintaan publik dengan biaya rendah	4	4	16
2	Perbaikan sanitasi lingkungan	4	3	12
<b>Total Oppurtunities</b>				28
No	Treaths (Ancaman)	Skor	Bobot	Total
1	Tidak ada baku mutu TN dan TP	4	4	16
2	Eutrofikasi badan air	4	3	12
3	Perbaikan regulasi untuk badan penerima oleh pemerintah	4	3	12
<b>Total Treaths</b>				40
<b>Selisih O-T</b>				-12

Dari Tabel 4.7 diatas, maka nilai selisih kekuatan dan kekurangan (S-W) akan mewakilkan nilai X pada grafik. Sedangkan nilai selisih peluang dan ancaman akan mewakilkan nilai Y pada Grafik Kuadran Analisa SWOT yang ditunjukkan pada Gambar 4.11. Nilai (X,Y) pada analisa skenario 1 adalah (-11,-12) dengan garis merah dimana ketika nilai tersebut di letakkan pada grafik koordinat akan menempati kuadran I. Pada posisi Kuadran I ini, menandakan bahwa IPAL X dengan teknologi *Activated Sludge* cukup lemah dan memiliki tantangan yang besar di masa depan. Hal ini dikarenakan Kuadran I memerlukan strategi defensif untuk meminimalkan kelemahan yang ada pada *Activated Sludge* apabila diterapkan pada IPAL X. Hal ini dikarenakan dari analisa yang dilakukan, Skenario 1 tidak memiliki kemampuan penyisihan nutrient dan memiliki beberapa kelemahan di

masa yang akan datang seperti belum adanya kepastian terhadap standar yang akan diacu terhadap kadar TN dan TP pada air limbah yang telah diolah melalui IPAL, tidak mempunya teknologi CAS dalam menyisihkan kandungan TN dan TP yang menjadi fokus utama pada penelitian ini, kebutuhan lahan yang cukup besar apabila dibandingkan dengan teknologi sejenisnya, serta berpotensi menyebabkan terjadi peristiwa eutrofikasi pada badan air penerima apabila *effluent* IPAL dilepaskan karena TN dan TP yang tidak terolah.



Gambar 4. 13 Grafik Kuadran Analisa SWOT Skenario 1 dan 2

Sedangkan untuk Skenario 2 yaitu IPAL X dengan teknologi *Anaerobic-Anoxic-Oxic* (A2O) memiliki hasil pembobotan Analisa SWOT sebagai berikut :

Tabel 4. 8 Analisa SWOT Skenario 2 IPAL X

No	Strengths (Kekuatan)	Skor	Bobot	Total
1	Menghilangkan bahan organik	4	3	12
2	Menurunkan padatan tersuspensi	3	4	12
3	Menurunkan nutrient	4	3	12
4	Kandungan lumpur lebih sedikit	3	3	9
5	Kebutuhan energi kecil	3	2	6
<b>Total Strength</b>				<b>51</b>
No	Weakness (Kelemahan)	Skor	Bobot	Total
1	Kebutuhan lahan besar	3	4	12
2	Biaya operasional dan maintenance besar	3	3	9
<b>Total Weakness</b>				<b>21</b>
<b>Selisih S-W</b>				<b>30</b>
No	Oppurtunities (Peluang)	Skor	Bobot	Total

1	Permintaan publik dengan biaya rendah	4	4	16
2	kemampuan pengolahan air limbah	3	2	6
3	Perbaikan sanitasi lingkungan	3	2	6
<b>Total Oppurtunities</b>				28
No	Treaths (Ancaman)	Skor	Bobot	Total
1	Tidak ada baku mutu TN dan TP	4	4	16
2	Kesulitan memahami proses teknologi	3	3	9
3	Perbaikan regulasi untuk badan air oleh pemerintah	4	3	12
<b>Total Treaths</b>				37
<b>Selisih O-T</b>				<b>-9</b>

Nilai selisih kekuatan dan kelemahan (S-W) akan mewakili nilai X dan nilai selisih peluang dan ancaman (O-T) mewakili nilai Y pada Grafik Kuadran Analisa SWOT dengan nilai (30,-9) yang ditunjukkan pada Gambar 4.13 dengan garis biru. Pada posisi ini, A2O merupakan teknologi yang memiliki keunggulan dan kekuatan untuk diterapkan pada IPAL X namun perlu dimaksimalkan untuk mengatasi ancaman di masa depan. Nilai ini menempati posisi kuadran IV yang memiliki arti teknologi A2O merupakan teknologi yang kuat dan mampu menyisihkan nutrient pada air limbah dengan beberapa keunggulan. A2O mampu menyisihkan kandungan TN dan TP lebih baik dari pada teknologi CAS dan telah terverifikasi. Namun teknologi A2O akan menghadapi beberapa ancaman di masa depan ketika pemerintah menetapkan baku mutu terhadap kandungan TP dan TN pada air limbah dan memperketat batasan baku mutu yang telah ada. Kendati demikian, untuk beberapa tahun kedepan, IPAL X dengan rancangan A2O dapat diterapkan karena memiliki kemampuan penyisihan Total Nitrogen dan Total Fosfor lebih baik dari Skenario 1 baik dari segi analisa SWOT maupun berdasarkan hasil simulasi STOAT. Selain hal tersebut terdapat juga beberapa kendala seperti kesulitan pengoperasian dan pemahaman perawatan teknologi yang lebih rumit apabila dibandingkan dengan Teknologi CAS pada Skenario 1 dan juga memerlukan lahan yang lebih besar daripada CAS karena membutuhkan 3 fase bak untuk mengolah air limbah demi penyisihan kandungan TN dan TP pada air limbah.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN & SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Penelitian ini memiliki beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Perhitungan manual terhadap kedua skenario yaitu IPAL X menggunakan teknologi *Activated Sludge* dan A2O akan mendapatkan hasil berupa dimensi bak, HRT, Q RAS, Q WAS, dan Q MLR yang akan digunakan dalam proses simulasi *modelling* menggunakan *Software* STOAT.
2. Simulasi penyisihan kandungan nutrient pada air limbah menggunakan bantuan *Software* STOAT dengan tahapan menyiapkan lembar kerja yang berisi rangkaian IPAL X yang akan direncanakan. Kemudian melakukan input data pada setiap teknologi yang digunakan. Input data didapatkan dari studi literatur khususnya untuk kualitas *influent* dan data pendukung lainnya seperti nilai RAS, MLR, WAS, Dimensi, HRT, Luas Permukaan, dan Dimensi bak didapatkan dari hasil perhitungan secara manual. Setelah input data, maka selanjutnya dilakukan *running* untuk menjalankan simulasi STOAT. Hasil simulasi ini berupa sebuah grafik proses IPAL X dan tabel *effluent* pengolahan.
3. Berdasarkan simulasi yang dilakukan menggunakan STOTA 5.0 terhadap penyisihan kandungan TN dan TP, lumpur aktif A2O memiliki kemampuan lebih baik dibandingkan dengan *Activtaed Sludge* yaitu dengan efisiensi sebesar 78.43% untuk TN dan 75.51% untuk TP. Sedangkan untuk teknologi *Activated Sludge* dengan kemampuan penyisihan TN dan TP sebesar 25.45% dan 2.02%.
4. Menurut Analisa SWOT yang dilakukan terhadap kedua teknologi, maka teknologi A2O cukup layak untuk diterapkan pada IPAL X. Hal ini dikarenakan berdasarkan teknologi A2O menempati kuadran IV pada grafik kuadran Analisa SWOT yang mana menyatakan bahwa

teknologi A2O berperan kuat (baik) dalam menurunkan kandungan TN dan TP pada air limbah. Namun masih memiliki beberapa tantangan/ancaman dimasa depan apabila pemerintah mulai menerapkan baku mutu untuk TN dan TP. Sedangkan untuk teknologi *Activated Sludge* berada pada kuadran I yang berarti belum mampu menyisihkan kandungan TN dan TP serta masih memiliki beberapa keterbatasan dan perlu meminimalkan kelemahan yang ada.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan kepada peneliti yang berkeinginan melanjutkan penelitian ini adalah :

1. Dapat melengkapi perencanaan dengan DED dan BOQ-RAB yang dapat menunjang kemudahan dalam perencanaan IPAL serta memperbanyak pertimbangan pemilihan teknologi yang akan digunakan.
2. Dapat dilakukan kalibrasi dan validasi data terlebih dahulu sebelum menjalankan model STOAT 5.0 dengan kondisi eksisting perencanaan guna mendapatkan hasil simulasi yang lebih baik dan tingkat akurasi yang tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ari, S. (2010). Karakteristik Proses Klarifikasi Dalam Sistem Nitrifikasi-Denitrifikasi Untuk Pengolahan Limbah Cair Dengan Kandungan N-Nh<sub>3</sub> Tinggi. In *Universitas Dipenogoro* (Vol. 60, Issue 4).
- Aditia, A. (2020). Pengolahan Air Limbah Menggunakan Bioreaktor Membran (Brm). *Jurnal Ilmiah Maksitek Vol. 5 No. 4 Issn. 2655-4399*, 5(4), 5–24.
- Ayoub, M. (2018). Performance Evaluation For The Proposed Upgrade Of A Wastewater Treatment Plant Using Asm2d Application. *International Journal Of Current Engineering And Technology*, 8(5), 1303–1309.
- Bahri, S. (2016). Identifikasi Sumber Pencemar Nitrogen (N) Dan Fosfor (P) Pada Pertumbuhan Melimpah Tumbuhan Air Di Danau Tempe, Sulawesi Selatan. *Jurnal Sumber Daya Air*, 12(2), 159–174. <https://doi.org/10.32679/jsda.v12i2.63>
- Budianti, T. (2017). Studi Penggunaan Lumpur Aktif Dan Karbon Aktif Dalam Pengolahan Air Limbah. *Jurnal Kimia*, 1(1), 1–4.
- Bui, Phuc & You, Sam-Sang & Boc Minh, Hung & Kim, Hwan-Seong. (2018). Robust Control Synthesis For The Activated Sludge Process. *Environmental Science: Water Research & Technology*. 4. 10.1039/C8ew00032h.
- Bhargava. (2016). Activated Sludge Treatment Process. *International Journal Of Engineering Development And Research* (, 4(2), 890–896. <http://water.worldbank.org/show-resource-guide/infrastructure/menu-technical-options/activated-sludge>
- Dewi, K. R. (2014). *Rancangan Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Dengan Proses Biologis Biological Nutrient Removal Ratna Kusuma Dewi*. Institut Pertanian Bogor.
- Ekama, G. A. (2011). Biological Nutrient Removal. *Treatise On Water Science*, 4(August), 409–526. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53199-5.00094-4>
- Gao, Y. N., Liu, X. Z., Zhang, R. X., Shan, J. J., Sun, M. Q., Zong, Z. X., Li, C. W., & Wang, X. Z. (2016). Operation And Management Of Liaoning Waste Water Treatment Plants By Stocat Simulation. *Matec Web Of Conferences*, 63,



04019.

- Goldyna Rarasari, M. D., Restu Wayan, I., Ernawati, M, N. (2019). *Efektivitas Pengolahan Limbah Domestik Di Instalasi Pengolahan Air Limbah (Ipal) Suwung-Denpasar, Bali*. *Journal Of Marine And Aquatic Sciences*, 5(2), 153-163.
- Indonesia.(1999). Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 829/Menkes/Sk/Vii Tahun 1999 tentang Persyaratan Kesehatan Perumahan.
- Indonesia (2016). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik
- Issa, H. M. (2019). Optimization Of Wastewater Treatment Plant Design Using Process Dynamic Simulation: A Case Study From Kurdistan, Iraq. *Aro-The Scientific Journal Of Koya University*, 7(1), 59.
- Kementrian Pupr, Direktorat Jenderal Cipta Karya (2018). Buku B Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat (Spald-T).
- Kementrian Pupr, Direktorat Jenderal Cipta Karya (2018). Buku A Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat (Spald-T).
- Li, B., & Brett, M. T. (2015). The Relationship Between Operational And Bioavailable Phosphorus Fractions In Effluents From Advanced Nutrient Removal Systems. *International Journal Of Environmental Science And Technology*, 12(10),
- Metcalf Dan Eddy. (2003). *Wastewater Engineering; Treatment And Reuse* (Fourth Edition). Mcgraw-Hill Book Company, Boston
- Pai, T. Y., Ouyang, C. F., Su, J. L., & Leu, H. G. (2001). Modelling The Stable Effluent Qualities Of The A2o Process With Activated Sludge Model 2d Under Different Return Supernatant. *Journal Of The Chinese Institute Of Engineers, Transactions Of The Chinese Institute Of Engineers, Series A/Chung-Kuo Kung Ch'eng Hsuch K'an*, 24(1), 75–84.
- Prillia Rahmawati. (2014). *Pengelolaan Metode Ipal ( Instalasi Pengolahan Air Limbah ) Dalam Mengatasi Pencemaran Air Tanah Dan Air Sungai*



- Priyanka, A. (2012). Perancangan Instalasi Pengolahan Air Limbah Pertamina Maritime Training Center (Studi Perbandingan Dengan Instalasi Pengolahan Air Limbah Gedung Pertamina Learning Center). *Jurnal Universitas Indonesia*, 1–105.
- Qasim, S. R., & Zhu, G. (2017). Wastewater Treatment And Reuse : Theory And Design Examples. In *Crc Press*.
- Ranieri, Ezio & Leverenz, Harold & Tchobanoglous, George. (2011). An Examination Of The Factors Involved In Agricultural Reuse: Technologies, Regulatory And Social Aspects. *Journal Of Water Resource And Protection*. 03.
- Rus, D. L., Patton, C. J., Mueller, D. K., & Crawford, C. G. (2013). Assessing Total Nitrogen In Surface-Water Samples--Precision And Bias Of Analytical And Computational Methods. *Scientific Investigations Report*, 1–38.
- Sabeen, A. H., Ngadi, N., Noor, Z. Z., Raheem, A. B., Agouillal, F., Mohammed, A. A., & Abdulkarim, B. I. (2018). Characteristics Of The Effluent Wastewater In Sewage Treatment Plants Of Malaysian Urban Areas. *Chemical Engineering*
- Said, N. I., & Utomo, K. (2018). Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Proses Lumpur Aktif Yang Diisi Dengan Media Bioball. *Jurnal Air Indonesia*, 3(2), 160–174. <https://doi.org/10.29122/Jai.V3i2.2337>
- Satria, A. W., Rahmawati, M., & Prasetya, A. (2019). Pengolahan Nitrifikasi Limbah Amonia Dan Denitrifikasi Limbah Fosfat Dengan Biofilter Tercelup. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 20(2), 243. <https://doi.org/10.29122/Jtl.V20i2.3479>
- Sprague, W., & Suite, A. (2014). *Secondary Treatment Operations And Maintenance Manual*. 99201(January).
- Susanthi, D., Dkk (2018). Evaluasi Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Ipal Komunal Di Kota Bogor Evaluation Of Domestic Wastewater Treatment Using Communal Wwtp In Bogor City. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(2), 229–238.

**LAMPIRAN I**  
**KETENTUAN DATA INPUT STOAT**

Tabel I.1 Data Input STOAT

Teknologi Pengolahan	Jenis Input	Data input
<i>Influent</i>	<i>Influent Pattern</i>	Debit, suhu, pH, <i>volatile fatty acid</i> , BOD, COD, Amoniak, dan <i>Soluble phosphat</i>
<i>Bar Screen</i>	<i>Name and Dimenssion</i>	<i>Bar spacing</i>
<i>Equalization tank</i>	<i>Name and Dimenssion</i>	Model
	<i>Initial Conditions</i>	Tank volume (m <sup>3</sup> ), Temperature (°C), Hydraulic age (h), BOD of volatile fatty acids (mg/l), Soluble BOD (mg/l), Soluble inert COD (mg/l), Ammonia (mg/l), Phosphate (mg/l), Dissolved oxygen (mg/l), Particulate BOD (mg/l), dan Particulate inert COD (mg/l)
<i>Aeration tank (Activated Sludge)</i>	<i>Name and Dimenssion</i>	<i>Process model, Volume, MLSS recycle, dan number of stage</i>
	<i>Stage Data</i>	<i>Volume distribution, feed distribution. Return activated sludge distribution, minimum <i>K<sub>la</sub></i> (1/h), Maksimum <i>K<sub>la</sub></i> (1/h), Dissolved oxygen set point (mg/L), dan stage where DO is to be measured</i>
	<i>Initial condition</i>	<i>Soluble BOD, Ammonia, Nitrate, Soluble phosphate, Dissolved oxygen, MLSS, Viable autotrophs, Non-viable autotrophs, Viable heterotrophs, dan non Viable heterotrophs</i>
<i>Secondary Clarifier</i>	<i>Name and Dimenssion</i>	<i>Model, Number of vertical layers, Surface area, Depth of tank, Depth of feed, RAS flow, Wastage method, Control aeration tank, dan Control aeration stage</i>
	<i>Operation</i>	<i>Change at time (h), RAS flow (m<sup>3</sup>/h), RAS ratio, Sludge wastage flow (m<sup>3</sup>/h), Wastage pump run time (h), Wastage cycle time (h), dan MLSS set-point (mg/l)</i>

	<i>Initial Condition</i>	<i>Soluble BOD (mg/l), Ammonia (mg/l), Soluble phosphate (mg/l), Dissolved oxygen (mg/l), Particulate BOD (mg/l), Particulate phosphate (mg/l), Mixed liquor suspended solids (mg/l), Non-settleable (volatile) solids (mg/l), Viable heterotrophs (mg/l), Non-viable heterotrophs (mg/l), Viable autotrophs (mg/l), Non-viable autotrophs (mg/l)</i>
<i>Chlorination tank</i>	<i>Name and Dimension</i>	<i>Volume</i>
	<i>Operation</i>	<i>Change at time (h) dan Chlorine dosage (mg/l)</i>



**LAMPIRAN II**  
**PROYEKSI PENDUDUK DAERAH PELAYANAN**

A. Proyeksi Penduduk

Tabel II.1 Jumlah Penduduk Wilayah X

No	Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Pertumbuhan Penduduk	
			Jiwa	Persentase (%)
1	2010	9645	-	0.00%
2	2011	9839	194	1.97%
3	2012	10028	189	1.88%
4	2013	10216	188	1.84%
5	2014	10399	183	1.76%
6	2015	10578	179	1.69%
7	2016	10755	177	1.65%
8	2017	10926	171	1.57%
9	2018	11091	165	1.49%
10	2019	11251	160	1.42%
11	2020	11404	153	1.34%
12	2021	12092	688	5.69%
<b>Jumlah</b>		<b>128224</b>	<b>2447</b>	<b>22.30%</b>
<b>Rerata</b>		<b>10685</b>	<b>222</b>	<b>1.86%</b>

Contoh perhitungan :

- Rata-rata pertumbuhan penduduk dari tahun 2010-2021

$$\begin{aligned}
 Ka &= \frac{P_{21}-P_{10}}{T_{21}-T_{10}} \\
 Ka &= \frac{12092-9645}{2021-2010} \\
 &= 222.46 \text{ jiwa/tahun}
 \end{aligned}$$

- Persentase pertumbuhan rata-rata penduduk :

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{\Sigma \text{ persen}}{T_{20}-T_9} \\
 r &= \frac{22.30\%}{2021-2010} \\
 r &= 1.86\%
 \end{aligned}$$

Tabel II.2 Perbandingan 3 Metode Proyeksi Penduduk

No	Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Metode		
			Aritmatik	Geometri	Least Square
1	2010	9645	9645	9828	9614
2	2011	9839	9867	10015	9809
3	2012	10028	10090	10206	10004
4	2013	10216	10312	10400	10198
5	2014	10399	10535	10598	10393
6	2015	10578	10757	10799	10588
7	2016	10755	10980	11005	10783
8	2017	10926	11202	11214	10977
9	2018	11091	11425	11427	11172
10	2019	11251	11647	11645	11367
11	2020	11404	11870	11866	11562
12	2021	12092	12092	12092	11756
Jumlah		128224	106460	107138	104906
Standar Deviasi			767.92	710.27	672.26

Sumber : Hasil Perhitungan (2022)

Pada hasil perhitungan dengan 3 metode didapatkan metode *Least Square* yang dapat mewakili perhitungan penduduk 10 tahun mendatang. Hal ini dikarenakan hasil perhitungan standar deviasi metode *Least Square* memiliki nilai terkecil apabila dibandingkan dengan dua metode lain.

Tabel II.3 Proyeksi Penduduk Selama 10 Tahun dengan Metode *Least Square*

No	Tahun	n	Jumlah Penduduk
1	2021	12	12092
2	2022	13	11951

3	2023	14	12146
4	2024	15	12341
5	2025	16	12535
6	2026	17	12730
7	2027	18	12925
8	2028	19	13120
9	2029	20	13314
10	2030	21	13509
11	2031	22	13704
12	2032	23	13899

<b>b</b>	<b>194.74</b>
<b>a</b>	<b>9419.52</b>

*Sumber : Hasil Perhitungan (2022)*

Perhitungan jumlah penduduk pada tahun perencanaan 2032 :

- $P_{2032} = (b \times n) + a$   
 $P_{2032} = (194.74 \times 23) + 9419.52$   
 $= 13899 \text{ jiwa}$

### LAMPIRAN III

#### PROYEKSI AIR LIMBAH

Perhitungan debit air limbah didasarkan pada area pelayanan, proyeksi pertumbuhan penduduk, dan penggunaan air bersih. Berdasarkan ketentuan perhitungan debit air limbah pada Buku A Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALD-T), air limbah yang dihasilkan tiap jiwa berkisar 60-80% dari penggunaan air bersih per hari. Sehingga didapatkan lah debit puncak air limbah sebesar 23.31 L/detik dari perhitungan proyeksi debit air limbah tahun perencanaan 2032 sebagai berikut :

Contoh Perhitungan (Buku A SPLD-T, Dinas Cipta Karya) :

- Debit kebutuhan air bersih Tahun 2032:  

$$Q \text{ air bersih} = \frac{\text{jumlah penduduk} \times \text{penggunaan air bersih}}{86400 \text{ detik}}$$

$$= \frac{13899 \text{ jiwa} \times 60 \text{ l/jiwa/hari}}{86400 \text{ detik}}$$

$$= 9.65 \text{ l/detik}$$
- Debit air limbah Tahun 2032:  

$$Q \text{ rata-rata} = 80\% \times Q \text{ air bersih}$$

$$= 80\% \times 9.65 \text{ l/detik}$$

$$= 7.72 \text{ l/detik}$$
- Faktor puncak =  $\frac{5}{\frac{\text{jumlah penduduk}}{1000} \times 0.2}$   

$$= \frac{5}{\frac{13899}{1000} \times 0.2}$$

$$= 2.95$$
- Debit infiltrasi = 10% x Q rata-rata  

$$= 10\% \times 7.72 \text{ l/detik}$$

$$= 0.772 \text{ l/detik}$$
- Debit puncak air limbah Tahun 2022:  

$$Q \text{ peak} = (\text{faktor puncak} \times Q \text{ rata-rata}) + Q \text{ infiltrasi}$$

$$= (2.95 \times 7.72 \text{ l/detik}) + 0.772 \text{ l/detik}$$

$$= 23.58 \text{ l/detik}$$

Tabel III.1 Proyeksi Debit Air Limbah

No	Tahun	Proyeksi penduduk	Kebutuhan Air	Kebutuhan Air Bersih Total (Qtotal)		Debit rata-rata AL (Qr)		Faktor puncak	Debit infiltrasi AL		Debit puncak AL (Qpeak)	
				lt/org/h	lt/dtk	m3/det	lt/dtk		m3/det	lt/dtk	m3/det	lt/dtk
1	2021	12092	60	8.40	0.008	6.72	0.007	3.037	0.672	0.001	21.07	0.021
2	2022	11951	60	8.30	0.008	6.64	0.007	3.044	0.664	0.001	20.88	0.021
3	2023	12146	60	8.43	0.008	6.75	0.007	3.034	0.675	0.001	21.15	0.02115
4	2024	12341	60	8.57	0.009	6.86	0.007	3.025	0.686	0.001	21.42	0.021
5	2025	12535	60	8.71	0.009	6.96	0.007	3.015	0.696	0.001	21.70	0.022
6	2026	12730	60	8.84	0.009	7.07	0.007	3.006	0.707	0.001	21.97	0.022
7	2027	12925	60	8.98	0.009	7.18	0.007	2.997	0.718	0.001	22.24	0.022
8	2028	13120	60	9.11	0.009	7.29	0.007	2.988	0.729	0.001	22.51	0.023
9	2029	13314	60	9.25	0.009	7.40	0.007	2.979	0.740	0.001	22.78	0.023
10	2030	13509	60	9.38	0.009	7.51	0.008	2.971	0.751	0.001	23.05	0.023
11	2031	13704	60	9.52	0.010	7.61	0.008	2.962	0.761	0.001	23.31	0.023
12	2032	13899	60	9.65	0.010	7.72	0.008	2.954	0.772	0.001	23.58	0.024



**LAMPIRAN IV**  
**PERHITUNGAN MANUAL IPAL X**

IV.1 Perhitungan *Bar Screen*

Tabel IV.1 Kriteria Desain *Bar Screen*

Parameter	Nilai Kriteria	Kriteria Digunakan
Kecepatan maksimum aliran melalui bar (m/s)	0,3 - 0,6	0.3
Ukuran bar		
Lebar (mm)	4 - 8	4
Tinggi (mm)	25 - 50	25
Spasi antar bar (mm)	25 - 75	25
Kemiringan dari garis horizontal (°)	45 - 60	45
Headloss diizinkan, <i>clogged screen</i> (mm)	150	150
Headloss maksimum, <i>clogged screen</i> (mm)	800	800

*Sumber : (Tchobanoglous, 2003)*

Penyelesaian (Buku B SPALD-T, Cipta Karya) :

a. Bar Screen

- Luas penampang bar  $= \frac{Debit}{Kecepatan}$   
 $= \frac{0.024 \text{ m}^3/detik}{0.6 \text{ m/detik}}$   
 $= 0.039 \text{ m}^2$
- Lebar area bersih screen  $= \frac{Luas \text{ penampang bar}}{kedalam \text{ air dalam pipa}}$   
 $= \frac{0.039 \text{ m}^2}{0.4 \text{ m}}$   
 $= 0.098 \text{ m}$
- Lebar screen  $= \text{jumlah celah} \times \frac{\text{lebar spasi}}{1000}$   
 $= 50 \times \frac{25 \text{ mm}}{1000}$   
 $= 1.25 \text{ m}$
- Jumlah bar  $= \text{Jumlah celah} + 1$   
 $= 50 + 1$   
 $= 51$

- Lebar saluran screen

$$\begin{aligned}
 &= \text{lebar area bersih screen} + \left( \frac{\text{jumlah bar}}{1000} \times \text{lebar batang screen} \right) \\
 &= 0.098 \text{ m} + \left( \frac{51}{1000} \times 4 \text{ mm} \right) \\
 &= 0.302 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Koefisien efisiensi  $= \frac{\text{jumlah bar} \times \text{lebar spasi}}{\text{lebar screen} \times 1000}$ 

$$\begin{aligned}
 &= \frac{51 \times 25 \text{ mm}}{0.302 \times 1000} \\
 &= 4.22
 \end{aligned}$$

- $d_2$  (Kedalaman air sebelum Screening):

$$\begin{aligned}
 Z_1 + d_1 + \frac{v^2}{2g} &= Z_2 + d_2 + \frac{v^2}{2g} + hL \\
 Z_1 + d_1 + \frac{v^2}{2g} &= Z_2 + d_2 + \frac{v^2}{2g} + Ke \left( \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} \right) 0 + 0,4 + \\
 \frac{0,6^2}{2 \times 9,81} &= 0 + d_2 + \frac{\left( \frac{0,024}{0,302 \times d_2} \right)^2}{2 \times 9,81} + \left( 0,3 \left( \frac{0,6^2}{2 \times 9,81} - \frac{\left( \frac{0,024}{0,302 \times d_2} \right)^2}{2 \times 9,81} \right) \right) \\
 0,42 &= d_2 + \frac{0,0006}{1,79 d_2^2} + 0,3 \left( \frac{0,360}{19,62} - \frac{0,0006}{1,76 d_2^2} \right) \\
 0,42 &= d_2 + \frac{0,0006}{1,79 d_2^2} + 0,3 \left( \frac{0,03 d_2^2 - 0,0006}{1,79 d_2^2} \right) \\
 0,42 &= d_2 + \frac{0,0006}{1,79 d_2^2} + \frac{0,0099 d_2^2}{1,79 d_2^2} - \frac{0,0002}{1,79 d_2^2} \\
 0,42 &= \frac{1,79 d_2^3 + 0,0099 d_2^2 + 0,0004}{1,79 d_2^2} \\
 0,75 d_2^2 &= 1,79 d_2^3 + 0,0099 d_2^2 + 0,0004 \\
 0 &= 1,79 d_2^3 + 0,0099 d_2^2 - 0,75 d_2^2 + 0,0004 \\
 0 &= 1,79 d_2^3 - 0,7388 d_2^2 + 0,0004 \\
 d_2 &= 0,41 \text{ m (trial and error)}
 \end{aligned}$$

- $v_2 = \frac{\text{debit puncak}}{(\text{lebar screen} \times d_2)}$ 

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0.024}{0.41 \text{ m} \times 0.302 \text{ m}} \\
 &= 0.19 \text{ m/detik}
 \end{aligned}$$

- $V \text{ bersih} = \frac{\text{debit puncak}}{(\text{lebar area bersih} \times d_2)}$ 

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0.024}{0.41 \text{ m} \times 0.098 \text{ m}} \\
 &= 0.585 \text{ m/detik}
 \end{aligned}$$

- $HL \text{ bersih} = \frac{(V \text{ bersih}^2 - v_2^2)}{(2 \times 9.81 \text{ m/detik})} \times \frac{1}{0.7}$ 

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(0.585^2 - 0.19^2)}{(2 \times 9.81 \text{ m/detik})} \times \frac{1}{0.7}
 \end{aligned}$$

$$= 0.02 \text{ m}$$

- d3 (Kedalaman air setelah *Screening*)

$$Z_2 + d_2 + \frac{v^2}{2g} = Z_3 + d_3 + \frac{V^2}{2g} + hL$$

$$0 + 0,41 + \frac{0,19^2}{2 \times 9,81} = 0 + d_3 + \frac{\left(\frac{0,024}{0,302 \times d_3}\right)^2}{2 \times 9,81} + 0,02$$

$$0,41 = d_3 + \frac{0,0006}{1,79 d_3^2} + 0,02$$

$$0,41 = \frac{1,79 d_3^3 + 0,0006 + 0,04 d_3^2}{1,79 d_3^2}$$

$$0,74 d_3^2 = 1,79 d_3^3 + 0,0006 + 0,04 d_3^2$$

$$0 = 1,79 d_3^3 + 0,0006 + 0,04 d_3^2 - 0,74 d_3^2$$

$$0 = 1,79 d_3^3 - 0,70 d_3^2 + 0,0006$$

$$d_3 = 0,39 \text{ m (trial and error)}$$

- V3 =  $\frac{\text{debit puncak}}{(\text{lebar screen} \times d_3)}$   
 $= \frac{0,024}{0,39 \text{ m} \times 0,302 \text{ m}}$   
 $= 0,2 \text{ m/detik}$

- V' dan d2' (Kedalaman air saat headloss 50%) :

$$V_{50} = \frac{Qp}{Lsaluran \times d_2' \times 50\%}$$

$$= \frac{0,024}{0,302 \times d_2' \times 50\%} = \frac{0,16}{d_2'}$$

$$V_2' = \frac{Qp}{Lsaluran \times d_2'}$$

$$= \frac{0,024}{0,302 \times d_2'} = \frac{0,08}{d_2'}$$

$$H_{L50} = \frac{V_{50}^2 - V_2'^2}{2g} \times \left(\frac{1}{0,7}\right)$$

$$= \frac{\left(\frac{0,16}{d_2'}\right)^2 - \left(\frac{0,08}{d_2'}\right)^2}{2 \times 9,81} \times \left(\frac{1}{0,7}\right)$$

$$= \frac{\left(\frac{0,018}{d_2'^2}\right)}{19,62} \times \left(\frac{1}{0,7}\right)$$

$$= \frac{0,018}{13,73 d_2'^2}$$

$$= \frac{0,0013}{d_2'^2}$$

- $d_2'^2$  (Kedalaman air saat headloss 50%) :

$$d_2' + \frac{V_2'^2}{2g} = d_3 + \frac{V_3^2}{2g} + hL50d_2'$$

$$d_2' + \frac{\left(\frac{0,08}{d_2'}\right)^2}{2 \times 9,81} = 0,031 + \frac{2,521^2}{2 \times 9,81} + \frac{0,0013}{d_2'^2} d_2' +$$

$$d_2' + \frac{0,0061}{19,62d_2'^2} = 0,031 + 0,32 + \frac{0,0013}{d_2'^2}$$

$$- 0,392 = - d_2' + \frac{0,0061}{196,2 d_2'^2} + \frac{0,0013}{d_2'^2}$$

$$d_2' = 0,4 \text{ m (Trial and Error)}$$

- $V_2'$ 

$$= \frac{\text{debit puncak}}{(\text{lebar screen} \times d_2')}$$

$$= \frac{0,0231}{0,302 \text{ m} \times 0,4 \text{ m}}$$

$$= 0,195 \text{ m/detik}$$

- HL 50
 
$$= H_L 50 = d_2' - d_3 = 0,4 - 0,39 = 0,01 \text{ m}$$

#### IV.2 Perhitungan Bak Ekualisasi dan Pompa

##### a. Bak Ekualisasi

- Debit rata-rata = 27.80 m<sup>3</sup>/jam
- Waktu tinggal = 1 jam
- Volume bak = Debit puncak x waktu tinggal
 
$$= 27,80 \text{ m}^3/\text{jam} \times 1 \text{ jam}$$

$$= 27,80 \text{ m}^3$$
- Kedalaman bak = 1.5 m
- Luas permukaan
 
$$= \frac{\text{volume bak}}{\text{kedalaman bak}}$$

$$= \frac{27,80 \text{ m}^3}{1,5 \text{ m}}$$

$$= 18,53 \text{ m}^2$$
- Dimensi bak = P : L = 1 : 1
 
$$\text{Panjang} = \sqrt{\text{Luas permukaan}}$$

$$= \sqrt{18,53 \text{ m}^2}$$

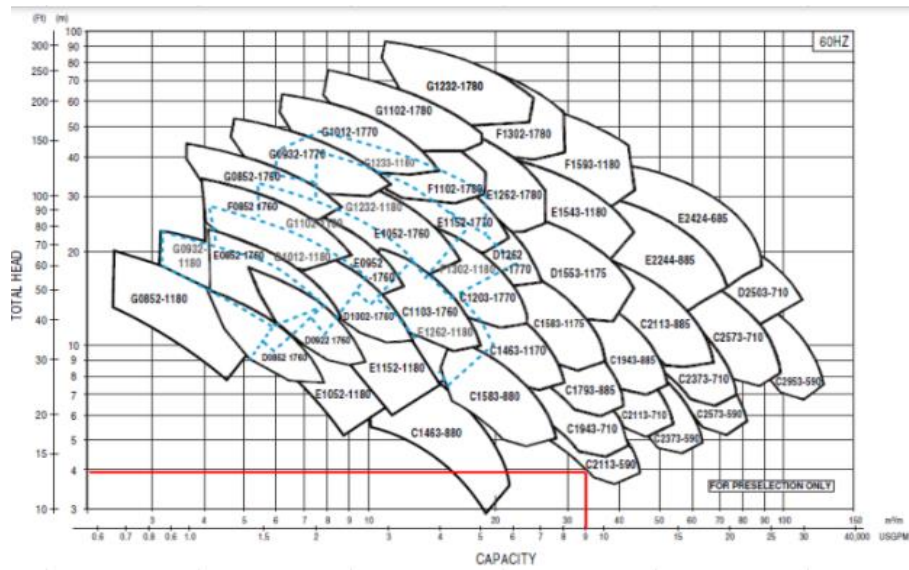
$$= 4,30 \text{ m} \text{ atau } 4,5 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 4,30 \text{ m} \text{ atau } 4,5 \text{ m}$$
- Volume digunakan = P x L x T
 
$$= 4,5 \text{ m} \times 4,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$$

$$= 30,375 \text{ m}^3$$

##### b. Pompa

- Head statis = 2 m
- A pipa =  $\frac{Q_{peak}}{Kecepatan (V)}$   
=  $\frac{0.024 \text{ m}^3/detik}{1 \text{ m/detik}}$   
= 0.024 m<sup>2</sup>
- Diameter pipa =  $\sqrt{\frac{4 \times Q_{peak}}{3.14 \times 3}}$   
=  $\sqrt{\frac{4 \times 0.024 \text{ m}^3/detik}{3.14 \times 3}}$   
= 0.1 m
- Hf mayor :  
Hf discharge =  $\frac{Q_{peak}}{(0.2785 \times Panjang \text{ pipa} \times D^2)^{1.85}} \times 0.5$   
=  $\frac{0.024 \text{ m}^3/detik}{(0.2785 \times 5 \text{ m} \times 0.1^2)^{1.85}} \times 0.5$   
= 1.32 m
- Hf Minor :  
n : 1  
k : 0.25  
Hf =  $\frac{n \times (k \times V^2)}{2 \times 9.81}$   
=  $\frac{1 \times (0.25 \times 1^2)}{2 \times 9.81}$   
= 0.013 m  
Hf kecepatan =  $\frac{v^2}{2 \times 9.81}$   
=  $\frac{1^2}{2 \times 9.81}$   
= 0.051 m  
H sisa tekan = 0.5 (asumsi)
- Head total  
= H statis + Hf discharge + Hf 90 + Hf kecepatan + H sisa tekan  
= 2 m + 1.32 m + 0.013 m + 0.051 m + 0.5  
= 3.89 m
- y : 9.8
- $\eta$  : 0.75
- Perhitungan daya pompa  
=  $\frac{H_{total} \times y \times Q_{peak}}{\eta}$   
=  $\frac{3.89 \text{ m} \times 9.8 \times 0.024 \text{ m}^3/detik}{0.75}$   
= 1.197 kW
- Spesifikasi pompa : C1463-880



Gambar IV.1 Grafik Spesifikasi Pompa  
Sumber :

#### IV.2 Perhitungan Bak *Activated Sludge* Penyelesaian (Qasim, 1992) :

- Q peak = 2037.26 m<sup>3</sup>/hari
- Kedalaman rencana = 3 m
- $\theta_c$  (SRT rencana) = 5 hari
- TSS di RAS = 10000 mg/l
- MLVSS = 0.8 x MLSS  
= 0.8 x 2500 mg/l  
= 2000 mg/l
- BOD Influent = 128 mg/l
- BOD soluble influent = 57.5 mg/l
- Konsentrasi TSS pada effluent = 26 mg/l
- BOD effluent Suspended solid  
= 1.42 x Rasio BOD/BOD<sub>u</sub> x Fraksi VSS/TSS x X<sub>e</sub>  
= 1.42 x 0.7 x 0.85 x 26 mg/l  
= 21.97 mg/l
- BOD effluent = BOD soluble influent - BOD effluent Suspended solid  
= 57.5 mg/l - 21.97 mg/l  
= 35.53 mg/l
- Y<sub>obs</sub> =  $\frac{Y}{1 + (kd \times \theta_c)}$   
=  $\frac{0.8}{1 + (0.025 \times 5)}$   
= 0.71 VSS/mg BOD

- $P_x$   
 $= Y_{obs} \times Q_{peak} \times (BOD_{influent} - BOD_{effluent}) \times 0.001$   
 $= 0.71 \times 2037.26 \times (128 - 35.53) \times 0.001$   
 $= 133.96 \text{ kg VSS/hari}$
- Total produksi TSS ( $P_{xss}$ )  $= \frac{P_x}{0.8}$   
 $= \frac{133.96 \text{ kg VSS/hari}}{0.8}$   
 $= 167.45 \text{ kg TSS/hari}$
- HRT ( $\theta$ )  $= \frac{P_x}{Q_{peak} \times MLVSS \times 0.001} \times \theta_c \times 24 \text{ jam}$   
 $= \frac{167.45}{2037.26 \times 2400 \times 0.001} \times 5 \text{ hari} \times 24 \text{ jam}$   
 $= 3.95 \text{ jam atau } 4 \text{ jam}$
- Volume bak  $= \frac{Q \times HRT}{24 \text{ jam}}$   
 $= \frac{2037.26 \text{ m}^3/\text{hari} \times 4 \text{ jam}}{24 \text{ jam}}$   
 $= 339.54 \text{ m}^3$
- Panjang : Lebar  $= 1:1$
- Panjang  $= \sqrt{\frac{\text{Volume bak}}{\text{kedalaman bak}}}$   
 $= \sqrt{\frac{339.54 \text{ m}^3}{3 \text{ m}}}$   
 $= 10.64 \text{ m atau } 11 \text{ m}$
- Lebar  $= 11 \text{ m}$
- $X_e$   $= 0.8 \times \text{Konsentrasi TSS pada effluent}$   
 $= 0.8 \times 26 \text{ mg/l}$   
 $= 20.8 \text{ mg/l}$
- Kehilangan TSS pada effluent  $= (Q_{peak} \times \text{Konsentrasi TSS pada effluent}) \times 0.001$   
 $= (2037.26 \text{ m}^3/\text{hari} \times 26 \text{ mg/l}) \times 0.001$   
 $= 52.97 \text{ kg TSS/hari}$
- Kehilangan VSS pada effluent  $= (Q_{peak} \times X_e) \times 0.001$   
 $= (2037.26 \text{ m}^3/\text{hari} \times 20.8 \text{ mg/l}) \times 0.001$   
 $= 42.38 \text{ kg TSS/hari}$
- TSS di WAS  $= P_{xss} - \text{kehilangan TSS pada effluent}$   
 $= 167.45 \text{ kg TSS/hari} - 52.97 \text{ kg TSS/hari}$   
 $= 114.48 \text{ kg TSS/hari}$
- VSS di WAS  $= P_x - \text{Kehilangan VSS pada effluent}$

$$= 133.96 \text{ kg VSS/hari} - 42.38 \text{ kg TSS/hari}$$

$$= 91.58 \text{ mg/l}$$

- $V_s = \frac{Q_s}{MLSS \left(\frac{kg}{l}\right)}$
- $Q_s = P_{xss} - ((Q \times V_s) \times \text{BOD eff})$   
 $= 167.45 - \left( (2037.26 \times \frac{Q_s}{2.75}) \times 35.53 \text{ mg/l} \right)$   
 $= 93.73 \text{ kg/hari}$
- $Q \text{ WAS } (V_s) = \frac{93.73 \text{ kg/hari}}{2.5 \left(\frac{kg}{l}\right)}$   
 $= 37.49 \text{ m}^3/\text{hari}$
- $X_r \text{ (VSS pada RAS)} = 0.8 \times \text{TSS pada RAS}$   
 $= 0.8 \times 10000 \text{ mg/l}$   
 $= 8000 \text{ mg/l}$
- $Q \text{ Ras } (Q_r) = \frac{MLVSS}{X_r - MLVSS} \times Q \text{ peak}$   
 $= \frac{2400 \text{ mg/l}}{8000 \text{ mg/l} - 2400 \text{ mg/l}} \times 2037.26 \text{ m}^3/\text{hari}$   
 $= 873.11 \text{ m}^3/\text{hari}$
- $\text{Rasio RAS} = \frac{MLSS}{TSS \text{ RAS} - MLSS}$   
 $= \frac{3000 \text{ mg/l}}{10000 \text{ mg/l} - 3000 \text{ mg/l}}$   
 $= 0.43$
- $F/M = \frac{BOD \text{ influent} \times 24}{HRT \times MLVSS}$   
 $= \frac{128 \text{ mg/l} \times 24}{3.25 \text{ jam} \times 2400 \text{ mg/l}}$   
 $= 0.4$
- $\text{Efisiensi removal BOD} = \frac{BOD \text{ influent} - BOD \text{ effluent}}{BOD \text{ influent}} \times 100 \%$   
 $= \frac{128 \text{ mg/l} - 35.53 \text{ mg/l}}{128 \text{ mg/l}} \times 100 \%$   
 $= 72.24\%$
- $\text{Mass Organic Loading (MOL)} = \frac{\text{Efisiensi removal BOD}}{100\%} \times F/M$   
 $= \frac{72.24\%}{100\%} \times 0.4$   
 $= 0.28$
- $\text{Volumetric Organic Loading (VOL)} = BOD \text{ influent} - BOD \text{ effluent} \times 0.001 \times \frac{24}{HRT}$   
 $= \frac{128 \text{ mg/l} - 35.53 \text{ mg/l}}{128 \text{ mg/l}} \times 0.001 \times \frac{24}{3.25 \text{ jam}}$   
 $= 0.68$



- **Kebutuhan O<sub>2</sub>**

$$= \frac{Q \text{ peak } x (BOD \text{ influent} - BOD \text{ effluent}) x 0.001}{0.68} x (1.42 x Px)$$

$$= \frac{2037.26 \text{ m}^3/\text{hari} x (128 \text{ mg/l} - 35.53 \text{ mg/l}) x 0.001}{0.68} x (1.42 x 132)$$

$$= 86.86 \text{ kg O}_2/\text{hari}$$
- **%SND bak CAS**

$$= \left[ 1 - \frac{NO_3 \text{ produced}}{NH_4 \text{ oxidiced}} \right] x 100\%$$

$$= \left[ 1 - \frac{26.15 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{(19.5 \frac{\text{mg}}{\text{l}} - 0.35 \frac{\text{mg}}{\text{l}})} \right] x 100\%$$

$$= 36,55\%$$

#### IV.4 Perhitungan Bak A2O

Perhitungan (Qasim,1992) dan (Dewi, R.K, 2014) :

##### A. Bak Anaerobik

- HRT yang digunakan = 1.5 jam
- Volume bak
 
$$= \frac{Q x HRT}{24 \text{ jam}}$$

$$= \frac{2037.26 \text{ m}^3/\text{hari} x 1.5 \text{ jam}}{24 \text{ jam}}$$

$$= 127.33 \text{ m}^3$$
- Kedalaman rencana = 3 m
- Luas permukaan
 
$$= \frac{\text{Volume bak}}{\text{Kedalaman rencana}}$$

$$= \frac{127.33 \text{ m}^3}{3 \text{ m}}$$

$$= 42.44 \text{ m}^2$$
- Rasio panjang : lebar = 1:1
- Panjang
 
$$= \sqrt{\text{Luas permukaan}}$$

$$= \sqrt{42.44 \text{ m}^2}$$

$$= 6.5 \approx 7 \text{ m}$$
- Lebar = 7 m
- Volume digunakan = Panjang x Lebar x Tinggi
 
$$= 7 \text{ m} x 7 \text{ m} x 3 \text{ m}$$

$$= 147 \text{ m}^3$$
- Daya pengaduk
 
$$= (0.00094 x 1.0087^{0.3} x \left(\frac{MLSS}{0.85}\right)^{0.298}) x \text{Volume digunakan}$$

$$= (0.00094 x 1.0087^{0.3} x \left(\frac{3000}{0.85}\right)^{0.298}) x 147 \text{ m}^3$$

$$= 1.58 \text{ kW}$$

## B. Bak Anoksik (Proses Denitrifikasi)

- Data perencanaan :
  - $\mu_{max, DN} = 0.3$  /hari
  - $\theta_T, DN = 1.1$
  - $DO_{max, DN} = 0.1$  mg/l
  - $K_d, DN = 0.04$  /hari
  - $Y, DN = 0.5 \text{ NO}_3\text{-N, mgVSS/mg}$
  - Kedalaman bak = 3 m
- $\mu'_{max, DN} = (\mu_{max} \times \theta T^{(29.6 - 20)}) \times (1 - DO_{max})$   
 $= 0.3 \times 1.1^{(29.6 - 20)} \times (1 - 0.1)$   
 $= 0.67$
- $\theta_c \text{ DN min (SRT)} = \frac{1}{\mu'_{max} - K_d}$   
 $= \frac{1}{0.67 - 0.04}$   
 $= 1.58$  hari
- $\theta_c \text{ DN dibutuhkan} = 1.5 \times \theta_c \text{ DN min}$   
 $= 1.5 \times 1.58$  hari  
 $= 2.37$  hari
- $\theta_c \text{ (SRT) digunakan} = 2.5$  hari
- $Y_{obs \text{ DN}} = \frac{Y_{DN}}{(1 + (k_d \text{ DN} \times \theta_c))}$   
 $= \frac{0.5}{1 + (0.04 \times 6)}$   
 $= 0.4$  g VSS/ g  $\text{NO}_3\text{-N}$
- Peningkatan konsentrasi biomassa total selama stabilisasi BOD  
 $= 0.308 \times (\text{konsentrasi BOD} - \text{BOD terlarut dalam influen})$   
 $= 0.308 \times (128 \text{ mg/l} - 3.72 \text{ mg/l})$   
 $= 38.28$  mg VSS/l
- Nitrogen organik tetap dalam biomassa  
 $= 0.122 \times \text{Peningkatan konsentrasi biomassa}$   
 $= 0.122 \times 38.28 \text{ mg/l}$   
 $= 4.67$  mg Org-N/l
- **Catatan : TSS pada WAS ( pada poin D. Kuantitas Activated Sludge (WAS)**
- Org-N pada bak  $= 0.122 \times \text{TSS pada WAS} \times 0.8$   
 $= 0.122 \times 267.44 \text{ kg/hari} \times 0.8$   
 $= 26.1$  kg/hari
- $\text{NH}_4\text{-N pada bak} = \frac{1 \times Q \text{ WAS}}{1000}$

- $$= \frac{1 \times 55.82 \text{ m}^3/\text{hari}}{1000}$$

$$= 0.056 \text{ kg/hari}$$
- NO<sub>3</sub>-N pada bak
 
$$= \frac{8 \times Q \text{ WAS}}{1000}$$

$$= \frac{8 \times 66.69 \text{ m}^3/\text{hari}}{1000}$$

$$= 0.447 \text{ kg/hari}$$
- TN pada bak
 
$$= \text{Org-N} + \text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$$

$$= 26.1 \text{ kg/hari} + 0.056 \text{ kg/hari} + 0.447 \text{ kg/hari}$$

$$= 26.61 \text{ kg/hari}$$
- Total NO<sub>3</sub>-N yang hilang saat denitrifikasi
 
$$= \text{beban TSS pada influent} - \text{beban TN influent} - \text{TN pada bak}$$

$$= 287.25 \text{ kg/hari} - 70.92 \text{ kg/hari} - 26.61 \text{ kg/hari}$$

$$= 189.7 \text{ kg/hari}$$
- Px, DN
 
$$= \text{Yobs DN} \times (\text{konsentrasi TN} - \text{Konsentrasi TP}) - \text{Nitrogen organik dalam biomassa}$$

$$= 0.4 \text{ g VSS/ g NO}_3\text{-N} \times (29 \text{ mg/l} - 12 \text{ mg/l} - 4.67 \text{ mg/l})$$

$$= 7.31 \text{ mg VSS/l}$$
- HRT ( $\theta$ )
 
$$= \frac{(24 \times 6 \times Px \text{ DN})}{Fx \text{ DN} \times MLSS}$$

$$= \frac{(24 \times 6 \times 7.31)}{0.5 \times 3000}$$

$$= 0.5 \text{ jam (OK)}$$
- Volume bak
 
$$= \frac{HRT (\theta) \times Q}{24 \text{ jam}}$$

$$= \frac{0.5 \text{ jam} \times 2037.26 \text{ m}^3/\text{hari}}{24 \text{ jam}}$$

$$= 42.4 \text{ m}^3$$
- Luas permukaan
 
$$= \frac{\text{Volume bak}}{\text{kedalaman bak}}$$

$$= \frac{42.4 \text{ m}^3}{3 \text{ m}}$$

$$= 14.15 \text{ m}^2$$
- Panjang : Lebar = 1:1
 
$$\text{Panjang} = \sqrt{\text{Luas permukaan}}$$

$$= \sqrt{14.15 \text{ m}^2}$$

$$= 3.76 \text{ m} \approx 4 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 4 \text{ m}$$
- Volume digunakan
 
$$= \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Kedalaman}$$

$$= 4 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 3 \text{ m}$$

$$= 48 \text{ m}^3$$

- Daya Pengaduk
  - $= (0.00094 \times 1.0087^{0.3} \times (\frac{MLSS}{0.85})^{0.298}) \times \text{Volume digunakan}$
  - $= (0.00094 \times 1.0087^{0.3} \times (\frac{3000}{0.85})^{0.298}) \times 48 \text{ m}^3$
  - $= 0.53 \text{ kW}$

### C. Bak Oksik (Proses Nitrifikasi)

- Data perencanaan :
  - $\mu_{max, N} = 0.3 \text{ /hari}$
  - $DO_{min, N} = 2 \text{ mg/l}$
  - $K_{do, N} = 1.3 \text{ /hari}$
  - $K_d, N = 0.05 \text{ /hari}$
  - $pH = 7.2$
  - $F \text{ proses N} = 2$
  - $F \text{ kinetik N} = 3$
  - $Y_N = 0.2 \text{ g VSS/g NH}_4\text{-N}$
  - $Y_{BOD} = 0.5 \text{ g VSS}$
  - $K_d \text{ BOD} = 0.025 \text{ /hari}$
  - $DO \text{ max N} = 3 \text{ mg/l}$
  - $\text{Kedalaman bak} = 3 \text{ m}$
- $\mu'_{max, N}$ 

$$= (\mu_{max, N} \times e^{(0.098 \times (T-15))}) \times (\frac{DO_{min}}{K_{DO} + DO_{min}}) \times (1 - (0.833 \times (pH - 7.2)))$$

$$= (0.3 \times e^{(0.098 \times (29.6 - 15))}) \times (\frac{2 \text{ mg/l}}{1.3 + 2}) \times (1 - (0.833 \times (7.2 - 7.2)))$$

$$= 0.76 \text{ /hari}$$
- $\theta_c \text{ N min}$ 

$$= \frac{1}{\mu'_{max, N} - K_d, N}$$

$$= \frac{1}{0.76 - 0.05}$$

$$= 1.41 \text{ hari}$$
- $\theta_c \text{ N dibutuhkan}$ 

$$= F \text{ proses N} \times F \text{ kinetik N} \times \theta_c \text{ N min}$$

$$= 2 \times 3 \times 1.41 \text{ hari}$$

$$= 8.45 \text{ hari}$$
- $\theta_c \text{ N digunakan} = 9 \text{ hari}$
- $K'$ 

$$= \frac{\mu'_{max, N}}{Y_N}$$

$$= \frac{0.76 \text{ /hari}}{0.2 \text{ g VSS/g NH}_4\text{-N}}$$

$$= 3.8 \text{ /hari}$$
- $U \text{ nitrifikasi}$ 

$$= \frac{1}{\theta_c \text{ N digunakan} + K_d, N} \times Y_N$$

$$= \frac{\frac{1}{9} + 0.05}{0.2}$$

$$= 0.81 \text{ /hari}$$

- K nitrifikasi =  $10^{((0.051 \times 35) - 1.158)}$
- Kadar NH<sub>4</sub>-N =  $\frac{U \text{ nitrifikasi} \times K \text{ nitrifikasi}}{(K' - U \text{ nitrifikasi})}$
- BOD untuk denitrifikasi =  $0.68 \times (3.7 \times [\text{TN}] - [\text{Org N}] - [\text{NO}_3] - 1)$
- BOD untuk deoksigenasi =  $0.68 \times 1.3 \times ((\text{rasio } Q_r:Q + \text{rasio } Q_{\text{recycle}}:Q) \times \text{DO max N}) - (1 + \text{rasio } Q_r:Q + \text{rasio } Q_{\text{recycle}}:Q) \times \text{DO max DN}$
- Y obs BOD =  $\frac{Y \text{ BOD}}{(1 + (k_d \text{ BOD} \times \theta_c \text{ rancangan}))}$
- P<sub>x</sub> BOD =  $\frac{Y \text{ BOD} \times ([S_0] - [S])}{1 + (k_d \text{ BOD} \times \theta_c \text{ rancangan})}$
- Y obs N =  $\frac{Y \text{ N}}{(1 + (k_d \text{ N} \times \theta_c \text{ rancangan}))}$
- P<sub>x</sub> N =  $Y \text{ obs N} \times ([\text{TN}] - (0.122 \times P_x \text{ BOD}) - 1)$
- P<sub>x</sub> TVSS =  $P_x \text{ BOD} + P_x \text{ N}$
- Peningkatan TVSS saat heterotroph =  $P_x \text{ DN} + P_x \text{ BOD}$

- Kriteria desain :

$$K_s \text{ BOD} = 60 \text{ mg/l}$$

$$K_n \text{ NH}_4 = 0.5 \text{ mg NH}_4/\text{l}$$

$$K_d \text{ NH}_4 = 0.135 \text{ /hari}$$

- Beban BOD effluent  $= \left( \frac{K_s \text{ BOD} \times (1 + k_d \text{ BOD} \times \theta N)}{(\theta N \times (Y \text{ BOD} \times K N)) - k_d \text{ BOD}} \right) - 1$   
 $= \frac{60 \text{ mg/l} \times (1 + 0.025 \times 9 \text{ hari})}{(9 \text{ hari} \times (0.8 \times 4.24)) - 0.025} - 1$   
 $= 2.51 \text{ mg/l}$

- Beban NH<sub>4</sub> effluent  $= \left( \frac{K_n \text{ NH}_4 \times (1 + k_d \text{ NH}_4 \times \theta N)}{(\theta N \times (\mu_{max, N} \times k_d \text{ NH}_4))} \right) - 1$   
 $= \left( \frac{0.5 \times (1 + 0.135 \times 9)}{(9 \times (0.3 \times 0.135))} \right) - 1$   
 $= 10.53 \text{ mg/l}$

- $\theta$  aerobik  $= \frac{24 \text{ jam} \times \theta_c \text{ rancangan} \times P \times \text{BOD}}{0.77 \times \text{MLSS}}$   
 $= 3.379 \text{ jam} \approx 3.5 \text{ jam (OK)}$

- Volume bak  $= \frac{\theta \text{ aerobik} \times Q}{24 \text{ jam}}$   
 $= \frac{3.5 \text{ jam} \times 2037.26 \text{ m}^3/\text{hari}}{24 \text{ jam}}$   
 $= 297.1 \text{ m}^3$

- Luas permukaan  $= \frac{\text{Volume bak}}{\text{Kedalaman bak}}$   
 $= \frac{297.1 \text{ m}^3}{3 \text{ m}}$   
 $= 99.03 \text{ m}^2$

- Panjang : Lebar = 2:1

$$\text{Lebar} = \sqrt{\frac{\text{Luas permukaan}}{2}}$$

$$= \sqrt{\frac{99.03}{2}}$$

$$= 7.04 \text{ m} \approx 7 \text{ m}$$

$$\text{Panjang} = 2 \times \text{Lebar}$$

$$= 2 \times 7.33 \text{ m}$$

$$= 14.07 \text{ m} \approx 14 \text{ m}$$

- = Kebutuhan O<sub>2</sub>  
 $= \frac{Q \text{ peak} \times (\text{BOD influent} - \text{BOD effluent}) \times 0.001}{0.68} \times (1.42 \times P \times \text{BOD})$   
 $= \frac{2037.26 \text{ m}^3/\text{hari} \times (128 \text{ mg/l} - 35.53 \text{ mg/l}) \times 0.001}{0.68} \times (1.42 \times 52.69)$   
 $= 202.66 \text{ kg O}_2/\text{hari}$

- %SND bak A<sub>2</sub>O

$$= \left[ 1 - \frac{\text{NO}_3 \text{ produced}}{\text{NH}_4 \text{ oxidiced}} \right] \times 100\%$$

$$= \left[ 1 - \frac{4.06 \frac{mg}{l}}{(19.5 \frac{mg}{l} - 1.72 \frac{mg}{l})} \right] \times 100\%$$

$$= 77.17\%$$

#### D. Kuantitas Waste Activated Sludge (WAS)

- Peningkatan kuantitas total MLVSS
  - = Peningkatan TVSS saat heterotroph x Q x 0.001
  - = 60.00 mg VSS/l x 2037.26 m<sup>3</sup>/hari x (0.001 liter)
  - = 122.24 TVSS/hari
- Peningkatan kuantitas total MLSS
  - =  $\frac{\text{Peningkatan kuantitas total MLVSS}}{0.8}$
  - =  $\frac{122.24 \text{ TVSS/hari}}{0.8}$
  - = 152.79 TSS/hari
- Debit WAS (Q WAS)
  - =  $\frac{\text{Peningkatan kuantitas total MLSS} \times Q \times 0.001}{3.74}$
  - =  $\frac{152.79 \text{ TSS/hari} \times 2037.26 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0.001}{3.74}$
  - = 83.23 m<sup>3</sup>/hari
- Aliran effluent = Q - Q WAS
  - = 2037.26 m<sup>3</sup>/hari - 83.23 m<sup>3</sup>/hari
  - = 1954.03 m<sup>3</sup>/hari
- TSS total pada WAS =  $\left( \frac{Q \text{ WAS} \times MLSS}{0.68} \right) \times 0.001 \text{ liter}$ 
  - =  $\left( \frac{83.23 \text{ m}^3/\text{hari} \times 3000 \text{ mg/l}}{0.68} \right) \times 0.001 \text{ liter}$
  - = 489.59 kg TSS/hari
- TSS pada effluent =  $\frac{(Q - Q \text{ WAS}) \times 10}{1000 \text{ L}}$ 
  - =  $\frac{(2037.26 \text{ m}^3/\text{hari} - 83.23 \text{ m}^3/\text{hari}) \times 10}{1000 \text{ L}}$
  - = 19.54 kg/hari
- BOD pada WAS = beban BOD inf - BOD eff
  - = 260.77 kg/hari - 4.12
  - = 256.65 kg/hari
- Org-N pada WAS = TSS total x 0.8 x 0.122
  - = 267.44 kg TSS/hari x 0.8 x 0.122
  - = 26.1 kg/hari
- NH<sub>4</sub>-N pada WAS = Beban NH<sub>4</sub> inf - Beban NH<sub>4</sub> eff
  - = 39.73 kg/hari - 10.53 kg/hari
  - = 29.2 kg/hari
- NO<sub>3</sub>-N pada WAS = Q WAS x 8 x 0.01
  - = 55.85 m<sup>3</sup>/hari x 8 x 0.01

- $$= 4.47 \text{ kg./hari}$$
 • TN pada WAS
 
$$= \text{Org-N} + \text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$$

$$= 26.1 \text{ kg/hari} + 29.2 \text{ kg/hari} + 4.47 \text{ kg./hari}$$

$$= 59.76 \text{ kg/hari}$$
- Org-P pada WAS
 
$$= ((Q \times \text{konsentrasi TP influent}) - (Q \times 1)) \times 0.01$$

$$= ((2037.26 \text{ m}^3/\text{hari} \times 12 \text{ mg/l}) - (2037.26 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1)) \times 0.01$$

$$= 22.41 \text{ kg/hari}$$
- PO<sub>4</sub>-P dilepaskan saat P stripper
 
$$= \text{Org.P} - (0.023 \times \text{TSS total pada WAS} \times 0.8)$$

$$= 22.41 \text{ kg/hari} - (0.023 \times 267.44 \text{ kg TSS/hari} \times 0.8)$$

$$= 17.88 \text{ PO}_4\text{-P/hari}$$

#### E. Estimasi RAS dan MLR

- TSS ras = 10.000 mg/l
- X<sub>w</sub>

$$= \frac{3000 \text{ mg/l}}{0.8}$$

$$= 3750 \text{ mg/l}$$
- Q<sub>r</sub> (RAS)
 
$$= \frac{X_w \times Q}{\text{TSS RAS} - X_w}$$

$$= \frac{3750 \text{ mg/l} \times 2037.26 \text{ m}^3/\text{hari}}{6250 \text{ mg/l}}$$

$$= 1222.36 \text{ m}^3/\text{hari} \text{ (aliran kembali ke bak anaerobik)}$$
- Rasio Q<sub>r</sub> : Q
 
$$= \frac{Q_r}{Q}$$

$$= \frac{1222.36 \text{ m}^3/\text{hari}}{2037.26 \text{ m}^3/\text{hari}}$$

$$= 0.6$$
- Q recycle (Q MLR) :
 
$$= \text{Total NO}_3\text{-N yang hilang denitrifikasi} - (Q_r \times 8 \times 0.001)$$

$$= 7130.42 \text{ kg} - (1222.36 \text{ m}^3/\text{hari} \times 8 \times 0.001)$$

$$= 7120.64 \text{ m}^3/\text{hari}$$
- Rasio Q<sub>recycle</sub> : Q
 
$$= \frac{Q_{\text{recycle}}}{Q}$$

$$= \frac{7120.64 \text{ m}^3/\text{hari}}{2037.26 \text{ m}^3/\text{hari}}$$

$$= 3.5$$
- NO<sub>3</sub>-N yang hilang denitrifikasi
 
$$= \text{konsentrasi TN influent} \times Q \times 0.1$$

$$= 34.81 \text{ mg/l} \times 2037.26 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0.1$$

$$= 7130.42 \text{ m}^3/\text{hari}$$

#### F. Total Volume bak Anaerobic-Anoxic-Oxic

$$\text{Total Volume} = \text{Volume bak (Anaerobic + Anoxic + Oxic)}$$

$$= 147 \text{ m}^3 + 42.4 \text{ m}^3 + 297.1 \text{ m}^3$$



$$= 486.5 \text{ m}^3$$

#### IV.5 Sedimentasi sekunder

Perhitungan (Buku B\_SPLDT, Cipta Karya) :

- Solid loading (SF) = 100 kg/m<sup>2</sup> hari
- Debit (Q peak) = 2211.1 m<sup>3</sup>/hari
- MLSS = 3000 mg/l  
= 3 kg/m<sup>3</sup>
- Luas Permukaan =  $\frac{MLSS \times Q}{SF}$   
=  $\frac{3 \text{ kg/m}^3 \times 2037.26 \text{ m}^3/\text{hari}}{100 \text{ kg/m}^2 \text{ hari}}$   
= 61.12 m<sup>2</sup>
- Diameter bak =  $\sqrt{\frac{4 \times \text{Luas permukaan}}{\pi}}$   
=  $\sqrt{\frac{4 \times 61.12 \text{ m}^2}{3.14}}$   
= 8.82 m atau 9 m
- OFR =  $\frac{Q \text{ peak}}{\text{Luas permukaan}}$   
=  $\frac{2037.26 \text{ m}^3/\text{hari}}{61.12 \text{ m}^2}$   
= 33.33 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> hari (**OK**)
- Volume bak =  $\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times H$   
=  $\frac{1}{4} \times 3.14 \times 9^2 \text{ m} \times 3 \text{ m}$   
= 198.99 m<sup>3</sup>
- Waktu detensi (td) =  $\frac{\text{Volume bak}}{Q \text{ peak}} \times 24 \text{ jam}$   
=  $\frac{198.99 \text{ m}^3}{2211.1 \text{ m}^3/\text{hari}} \times 24 \text{ jam}$   
= 2.16 jam (**OK**)

#### IV.6 Bak klorinasi

Perhitungan :

Data perencanaan :

- Q peak = 23.58 l/detik = 84.89 m<sup>3</sup>/jam
- Dosis klor yang diberikan = 2 mg/l
- Waktu detensi (td) = 30 menit  
= 0.5 jam
- Kadar klor dalam kaporit = 70%
- Kedalaman = 3 m
- Berat jenis kaporit = 0.86 kg/l
- Jumlah sekat bak = 4 buah

**Penyelesaian :**

- Kebutuhan klor =  $\frac{100 (\%)}{\text{kadar klor} (\%)} \times Q_{\text{peak}} \times \text{dosis klor}$   
= 70% x 23.58 l/detik x 2 mg/l  
= 33.012 mg/detik  
= 2.85 kg/hari
- Volume kaporit =  $\frac{\text{Kebutuhan klor}}{\text{berat jenis klor}}$   
=  $\frac{2.85}{0.86} = 3.31 \text{ L/hari}$
- Volume bak pelarut =  $Q_{\text{peak}} \times t$   
= 84.89 m<sup>3</sup>/jam x 0.5 jam  
= 42.44 m<sup>3</sup>
- Luas Permukaan =  $\frac{\text{Volume bak}}{\text{kedalaman bak}}$   
=  $\frac{42.44 \text{ m}^3}{3 \text{ m}}$   
= 14.15 m<sup>2</sup>
- Dimensi bak : P:L = 2:1  
Lebar =  $\sqrt{\frac{\text{Luas permukaan}}{2}}$   
=  $\sqrt{\frac{14.15 \text{ m}^2}{2}}$   
= 2.66 m  
Panjang = 2 x L  
= 2 x 2.66 m  
= 5.32 m
- Cek waktu detensi =  $\frac{\text{Volume bak pelarut}}{(Q_{\text{peak}} \times 0.001)}$   
=  $\frac{42.44 \text{ m}^3}{2037.26 \text{ l/detik} \times 0.001 \text{ m}^3/\text{detik}}$   
= 0.5 jam



**LAMPIRAN IV  
HASIL SIMULASI STOAT**

**1. Skenario 1**

**Tabel IV.1 Hasil Simulasi CAS Selama 48 Jam Pengolahan**

Elapsed Time	TSS	BOD	COD	Amonia	Nitrat	Fosfat	TP	TN
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	4.03	57.82	57.82	19.47	7.03	3.96	3.96	26.5
2.00	5.88	46.69	46.69	19.07	7.43	3.96	3.96	26.5
3.00	7.11	21.75	21.75	16.68	9.82	3.96	3.96	26.5
4.00	7.75	7.84	7.84	10.23	16.27	3.96	3.96	26.5
5.00	8.58	4.9	4.9	3.6	22.9	3.96	3.96	26.5
6.00	9.57	4.67	4.67	0.79	25.71	3.96	3.96	26.5
7.00	10.31	4.83	4.83	0.24	26.26	3.96	3.96	26.5
8.00	10.9	5	5	0.18	26.32	3.96	3.96	26.5
9.00	11.42	5.16	5.16	0.18	26.32	3.96	3.96	26.5
10.00	11.92	5.31	5.31	0.18	26.32	3.96	3.96	26.5
11.00	12.35	5.43	5.43	0.19	26.31	3.96	3.96	26.5
12.00	12.83	5.57	5.57	0.19	26.31	3.96	3.96	26.5
13.00	13.8	5.83	5.83	0.2	26.3	3.96	3.96	26.5
14.00	14.63	6.06	6.06	0.2	26.3	3.96	3.96	26.5
15.00	15.35	6.26	6.26	0.2	26.3	3.96	3.96	26.5
16.00	16	6.45	6.45	0.21	26.29	3.96	3.96	26.5
17.00	16.66	6.64	6.64	0.21	26.29	3.96	3.96	26.5
18.00	17.27	6.83	6.83	0.22	26.28	3.96	3.96	26.5
19.00	17.86	7.03	7.03	0.22	26.28	3.96	3.96	26.5
20.00	18.43	7.23	7.23	0.22	26.28	3.96	3.96	26.5
21.00	18.98	7.43	7.43	0.23	26.27	3.96	3.96	26.5
22.00	19.51	7.62	7.62	0.23	26.27	3.96	3.96	26.5

23.00	20.04	7.8	7.8	0.24	26.26	3.96	3.96	26.5
24.00	20.55	7.97	7.97	0.24	26.26	3.96	3.96	26.5
25.00	21.06	8.14	8.14	0.24	26.26	3.96	3.96	26.5
26.00	21.57	8.33	8.33	0.25	26.25	3.96	3.96	26.5
27.00	22.07	8.51	8.51	0.25	26.25	3.96	3.96	26.5
28.00	22.56	8.7	8.7	0.26	26.24	3.96	3.96	26.5
29.00	23.05	8.88	8.88	0.26	26.24	3.96	3.96	26.5
30.00	23.54	9.06	9.06	0.26	26.24	3.96	3.96	26.5
31.00	24.08	9.25	9.25	0.27	26.23	3.96	3.96	26.5
32.00	24.64	9.45	9.45	0.27	26.23	3.96	3.96	26.5
33.00	25.18	9.65	9.65	0.28	26.22	3.96	3.96	26.5
34.00	25.72	9.85	9.85	0.28	26.22	3.96	3.96	26.5
35.00	26.24	10.05	10.05	0.29	26.21	3.96	3.96	26.5
36.00	26.76	10.25	10.25	0.29	26.21	3.96	3.96	26.5
37.00	27.28	10.44	10.44	0.3	26.2	3.96	3.96	26.5
38.00	27.78	10.63	10.63	0.3	26.2	3.96	3.96	26.5
39.00	28.28	10.82	10.82	0.31	26.19	3.96	3.96	26.5
40.00	28.78	11.01	11.01	0.31	26.19	3.96	3.96	26.5
41.00	29.89	11.39	11.39	0.32	26.18	3.96	3.96	26.5
42.00	31.22	11.84	11.84	0.32	26.18	3.96	3.96	26.5
43.00	32.44	12.26	12.26	0.33	26.17	3.96	3.96	26.5
44.00	33.56	12.65	12.65	0.33	26.17	3.96	3.96	26.5
45.00	34.58	13.01	13.01	0.34	26.16	3.96	3.96	26.5
46.00	35.52	13.35	13.35	0.34	26.16	3.96	3.96	26.5
47.00	36.38	13.66	13.66	0.35	26.15	3.96	3.96	26.5

2. Sekenario 2

**Tabel IV.2 Hasil Simulasi A2O Selama 48 Jam Pengolahan**

Elapsed Time	TSS	BOD	COD	Amonia	Nitrat	Fosfat	TP	TN
0.00	6.15	3.59	3.59	1.55	3.67	0.65	0.65	5.22
1.00	4.59	54.31	54.31	19.42	6.63	0.64	0.64	26.05
2.00	7.75	29.63	29.63	18.51	4.37	0.63	0.63	22.89
3.00	10.8	11.22	11.22	15.93	3.63	0.62	0.62	19.55
4.00	12.82	6.34	6.34	12.73	4.31	0.62	0.62	17.04
5.00	16.14	6.02	6.02	9.92	4.88	0.61	0.61	14.81
6.00	18.47	6.27	6.27	7.62	5.17	0.61	0.61	12.79
7.00	19.69	6.46	6.46	5.76	5.29	0.6	0.6	11.05
8.00	20.08	6.52	6.52	4.28	5.32	0.6	0.6	9.59
9.00	19.88	6.49	6.49	3.11	5.28	0.6	0.6	8.39
10.00	19.27	6.39	6.39	2.24	5.19	0.59	0.59	7.44
11.00	18.36	6.23	6.23	1.64	5.06	0.59	0.59	6.7
12.00	17.26	6.05	6.05	1.27	4.9	0.59	0.59	6.17
13.00	16.02	5.85	5.85	1.07	4.74	0.59	0.59	5.81
14.00	14.76	5.64	5.64	0.98	4.61	0.59	0.59	5.59
15.00	13.32	5.37	5.37	0.95	4.52	0.59	0.59	5.47
16.00	12.36	5.2	5.2	0.95	4.46	0.58	0.58	5.4
17.00	11.82	5.1	5.1	0.96	4.42	0.58	0.58	5.38
18.00	11.3	5	5	0.97	4.4	0.58	0.58	5.37
19.00	10.84	4.91	4.91	0.99	4.38	0.58	0.58	5.36
20.00	10.39	4.81	4.81	1	4.36	0.58	0.58	5.37
21.00	9.94	4.71	4.71	1.02	4.35	0.58	0.58	5.37
22.00	9.48	4.61	4.61	1.04	4.34	0.58	0.58	5.38
23.00	9.01	4.5	4.5	1.06	4.33	0.58	0.58	5.39
24.00	8.52	4.38	4.38	1.07	4.32	0.58	0.58	5.39

25.00	8.03	4.26	4.26	1.09	4.31			5.4
26.00	7.82	4.21	4.21	1.11	4.3	0.62	0.62	5.41
27.00	7.61	4.16	4.16	1.12	4.29	0.62	0.62	5.42
28.00	7.43	4.11	4.11	1.14	4.28	0.61	0.61	5.43
29.00	7.26	4.06	4.06	1.16	4.27	0.61	0.61	5.44
30.00	7.08	4.01	4.01	1.18	4.26	0.6	0.6	5.44
31.00	6.9	3.96	3.96	1.2	4.25	0.6	0.6	5.45
32.00	6.71	3.91	3.91	1.22	4.24	0.6	0.6	5.46
33.00	6.51	3.86	3.86	1.24	4.23	0.59	0.59	5.47
34.00	6.28	3.79	3.79	1.26	4.22	0.59	0.59	5.48
35.00	6.16	3.76	3.76	1.28	4.21	0.59	0.59	5.5
36.00	6.12	3.74	3.74	1.3	4.2	0.59	0.59	5.51
37.00	6.09	3.73	3.73	1.33	4.19	0.59	0.59	5.52
38.00	6.07	3.72	3.72	1.35	4.18	0.59	0.59	5.53
39.00	6.04	3.72	3.72	1.38	4.17	0.58	0.58	5.55
40.00	6.01	3.72	3.72	1.42	4.16	0.58	0.58	5.57
41.00	5.98	3.73	3.73	1.45	4.14	0.58	0.58	5.6
42.00	5.95	3.73	3.73	1.49	4.13	0.58	0.58	5.63
43.00	5.92	3.73	3.73	1.54	4.12	0.58	0.58	5.66
44.00	5.9	3.74	3.74	1.58	4.11	0.58	0.58	5.69
45.00	5.87	3.74	3.74	1.63	4.09	0.58	0.58	5.72
46.00	5.85	3.74	3.74	1.68	4.08	0.58	0.58	5.75
47.00	5.82	3.74	3.74	1.72	4.06	0.58	0.58	5.7