

TUGAS AKHIR

***BIOLOGICAL NUTRIENT REMOVAL DARI IPAL DOMESTIK
MENGUNAKAN PROSES MODIFIED UNIVERSITY OF
CAPE TOWN (MUCT) MELALUI PENDEKATAN MODEL
SIMULASI MENGGUNAKAN SOFTWARE STOAT***

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



DHITA KHAIRU ANNISA

18513128

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

2022

TUGAS AKHIR

BIOLOGICAL NUTRIENT REMOVAL DARI IPAL DOMESTIK MENGGUNAKAN PROSES MODIFIED UNIVERSITY OF CAPE TOWN (MUCT) MELALUI PENDEKATAN MODEL SIMULASI MENGGUNAKAN SOFTWARE STOAT

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



**Disusun Oleh :
DHITA KHAIRU ANNISA
18513128**

Disetujui,

Dosen Pembimbing I

Dr. Eng. Awaluddin Nurmivanto, 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,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

Eko Siswoyo S.T., M.Sc.E.S., M.Sc., Ph.D

NIP 025100406

Tanggal : 13 Juni 2022

HALAMAN PENGESAHAN

**BIOLOGICAL NUTRIENT REMOVAL DARI IPAL DOMESTIK MENGGUNAKAN
PROSES MODIFIED UNIVERSITY OF CAPE TOWN (MUCT) MELALUI
PENDEKATAN MODEL SIMULASI MENGGUNAKAN SOFTWARE STOAT**

Hari: Selasa

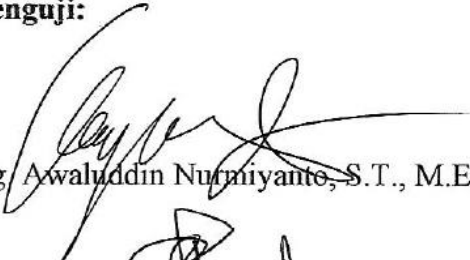
Tanggal: 31 Mei 2022


Disusun Oleh:


DHITA KHAIRU ANNISA

18513128

Tim Penguji:


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


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


Dr. Eng 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 sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program software komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia.
5. 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, 15 April 2022

Yang membuat pernyataan



Dhita Khairu Annisa

NIM: 18513128

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang telah memberikan penulis kekuatan, rahmat, dan kesempatan dalam menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Biological Nutrient Removal dari IPAL Domestik Menggunakan Proses *Modified University of Cape Town* (MUCT) Melalui Pendekatan Model Simulasi Menggunakan *Software* STOAT.

Penulisan tugas akhir ini bertujuan agar para pembaca mendapatkan tambahan wawasan mengenai penyisihan nutrien yaitu nitrogen dan fosfor melalui model simulasi dengan menggunakan *software* STOAT *version* 5.0. Selain itu, tugas akhir ini juga disusun sebagai salah satu syarat kelulusan penulis dalam menempuh Program Pendidikan Strata-I pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Pencapaian yang diraih oleh penulis dalam penyelesaian skripsi ini tak lepas dari dukungan banyak pihak. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Allah Yang Maha Esa;
2. Bapak H. Khairuddin dan Ibu Hj. Dahliarti selaku orang tua kandung penulis yang sedari dulu selalu mendukung dan membantu penulis baik berupa perbuatan maupun doa sehingga bisa mencapai titik pencapaian saat ini, serta Keisha Khairu Muhsi selaku adik penulis yang sudah menghibur dan menemani penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini;
3. Bapak Dr.Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan saran, bimbingan dan juga penilaian kepada penulis mulai dari penyusunan proposal hingga penyelesaian Tugas Akhir ini;
4. Ibu Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang memberikan saran, masukan dan dukungan kepada penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini;

5. Bapak Dr.Eng Joni Aldila Fajri, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan dan arahan pada penelitian Tugas Akhir ini;
6. Para dosen dan pengajar yang selama ini telah memberikan ilmu yang bermanfaat bagi penulis selama menempuh pendidikan di Fakultas Teknik Lingkungan UII;
7. Teman-teman satu topik Tugas akhir yaitu Dinda, Resti, Wiya, dan Gita yang telah memberikan bantuan kepada penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini,
8. Fairuzi Novril selaku teman yang menani dari SMA yang turut memberikan dukungan dan semangat selama penyusunan Tugas Akhir ini;
9. Teman-teman kelas C yang selama masa perkuliahan selalu membantu penulis dalam memahani mata kuliah di Teknik Lingkungan UII;
10. Teman-teman satu bimbingan Tugas Akhir yaitu Bagas dan Cyntya yang sudah meberikan semangat kepada penulis;
11. Teman-teman yang berada di dalam grup Naukhty dan Joki Tugas Ospek khususnya Nisa dan Fara yang sudah banyak membantu penulis;
12. Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis selama perkuliahan di Teknik Lingkungan UII.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca yang bersifat membangun untuk menjadikan Tugas Akhir ini lebih baik.

Penulis juga meminta maaf kepada pihak-pihak yang secara langsung maupun tidak langsung yang terlibat apabila terdapat ucapan maupun tindakan yang kurang berkenan.

Yogyakarta, 15 April 2022

Dhita Khairu Annisa



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

DHITA KHAIRU ANNISA. *Biological Nutrient Removal* dari IPAL Domestik Menggunakan Proses *Modified Univeristy of Cape Town* (MUCT) 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.

Di Indonesia sendiri, penyisihan nutrien pada IPAL masih sangat jarang dilakukan, padahal air limbah domestik dapat mengandung nutrien yang berpotensi untuk meningkatkan eutrofikasi di badan air yang terjadi dikarenakan tingginya konsentrasi dari nitrogen dan fosfor di perairan. Apabila konsentrasi nitrogen dan forfor berlebih di dalam air limbah, maka akan menyebabkan terjadinya algae bloom ketika dibuang ke badan air sehingga menyebabkan pergeseran keseimbangan ekosistem. Pada penelitian ini digunakan teknologi Lumpur Aktif Konvensional dan *Modified University of Cape Town* (MUCT) untuk melihat performa terbaik dari penyisihan nitrogen dan fosfor dalam air limbah. MUCT merupakan teknologi pengolahan air limbah untuk penghilangan nitrogen dan fosfor, yang terdiri dari 4 proses tahapan yaitu bak anaerobik, bak anoksik 1 dan 2, dan bak aerobik (oksik) serta terdapat 2 kali resirkulasi yaitu IMLR nitrat dan IMLR anaerobik. Penelitian ini dilakukan perhitungan manual untuk setiap teknologi, kemudian dilakukan simulasi pemodelan menggunakan *software* STOAT *version* 5.0. Hasil performa perencanaan IPAL terhadap penyisihan TN dan TP akan dibandingkan dan dilakukan analisis SWOT. Dari simulasi yang dilakukan, diketahui persentase penyisihan parameter TN dan TP untuk unit Lumpur Aktif Konvensional sebesar 25% dan 2,02% sedangkan untuk unit MUCT sebesar 81% dan 68%. Berdasarkan analisis SWOT, perencanaan IPAL dengan menggunakan unit MUCT lebih baik dibandingkan unit Lumpur Aktif Konvensional.

Kata Kunci: Lumpur Aktif Konvensional, MUCT, Penyisihan Nutrien, Perencanaan IPAL, Simulasi Pemodelan, STOAT *version* 5.0.

ABSTRACT

DHITA KHAIRU ANNISA. Biological Nutrient Removal from Domestic WWTP Using the Modified University of Cape Town (MUCT) Process Through a Simulation Model Approach Using STOAT Software. Supervised by Dr.Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng. and Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T.

In Indonesia, nutrient removal in WWTPs is still very rarely done, even though domestic wastewater can contain nutrients that have the potential to increase eutrophication in water bodies due to the high concentration of nitrogen and phosphorus in the waters. If the concentration of nitrogen and phosphorus is excessive in wastewater, it will cause algae blooms when discharged into water bodies, causing a shift in the balance of the ecosystem. In this study, Conventional Activated Sludge and Modified University of Cape Town (MUCT) technology was used to see the best performance of nitrogen and phosphorus removal in wastewater. MUCT is a wastewater treatment technology for nitrogen and phosphorus removal, which consists of a 4-step process, namely anaerobic tanks, anoxic tanks 1 and 2, and aerobic (oxic) tanks, also there are 2 recirculations, namely IMLR nitrate and anaerobic IMLR. In this study, manual calculations were carried out for each technology, then modeling simulations were carried out using STOAT version 5.0 software. The results of the WWTP planning performance against the NP and TP allowances will be compared and a SWOT analysis will be carried out. From the simulation, it is known that the percentage of TN and TP parameter allowance for Conventional Activated Sludge units is 25% and 2.02%, while for MUCT units it is 81% and 68%, respectively. Based on the SWOT analysis, the WWTP planning using the MUCT unit is better than the conventional activated sludge unit.

Keywords: *Conventional Activated Sludge, MUCT, Nutrient Removal, WWTP Planning, Simulation Modeling, STOAT version 5.0.*

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
NOTASI DAN SINGKATAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL Domestik)	5
2.2 Lumpur Aktif Konvensional (Conventional Activated Sludge)	6
2.3 <i>Modified University of Cape Town</i> (MUCT)	7
2.4 Perbandingan Teknologi CAS dan MUCT	9
2.5 Nutrien	12
2.6 Pemodelan	12
2.7 STOAT	13
2.8 Penelitian Terdahulu	13

BAB III METODE PENELITIAN	16
3.1 Metode Penelitian.....	16
3.2 Rancangan Perencanaan Unit IPAL.....	18
3.3 Tahapan Penelitian	26
3.4 Model STOAT	27
3.5 Data Input STOAT.....	28
3.6 Matriks SWOT	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Kualitas dan Kuantitas Air Limbah.....	35
4.1.1 Karakteristik Air Limbah Domestik.....	35
4.1.2 Beban Pengolahan.....	35
4.1.3 Proyeksi Penduduk.....	36
4.1.4 Kebutuhan Air Bersih.....	40
4.1.5 Proyeksi Debit Air Limbah.....	41
4.2 Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik.....	42
4.2.1 Baku Mutu Air Limbah Domestik	42
4.2.2 Rancangan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik...	43
4.3 Simulasi Pemodelan Perencanaan IPAL Domestik.....	59
4.3.1 Skenario Pemodelan Perencanaan IPAL Domestik	59
4.3.2 Tahapan Simulasi Pemodelan IPAL Margasari Menggunakan <i>Software STOAT Version 5.0</i>	60
4.3.3 Hasil Performa Perencanaan IPAL Domestik Terhadap Penyisihan Nutrien.....	62
4.4 Perbandingan Performa Hasil Simulasi Pemodelan Perencanaan Unit IPAL.....	75

4.5 Analisis SWOT Perencanaan IPAL Menggunakan Unit Lumpur Aktif Konvensional dan MUCT	80
4.5.1 Analisis Faktor Internal dan Eksternal Teknologi CAS	81
4.5.2 Analisis Faktor Internal dan Eksternal Teknologi MUCT	82
4.5.3 Detail Analisis SWOT Dari Kedua Teknologi	83
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	87
5.1 Kesimpulan	87
5.2 Saran	88
DAFTAR PUSTAKA	89
LAMPIRAN	95
Lampiran I. Proyeksi Penduduk	95
Lampiran II. Perhitungan Debit Air Limbah	102
Lampiran III. Detail Perhitungan Unit Perencanaan IPAL	104
Lampiran IV. Detail Hasil Simulasi STOAT	132

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Teknologi CAS dan MUCT	11
Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu.....	14
Tabel 3. 1 Data Input Simulasi Pemodelan IPAL Skenario #1 dan Skenario #2...29	
Tabel 3. 2 Data Input Unit Bar Screen.....	29
Tabel 3. 3 Data Input Unit Bak Ekualisasi.....	30
Tabel 3. 4 Data Input Unit Lumpur Aktif Konvensional.....	30
Tabel 3. 5 Data Input Unit MUCT.....	31
Tabel 3. 6 Data Input Unit Bak Sedimentasi Kedua Skenario #1	31
Tabel 3. 7 Data Input Unit Bak Sedimentasi Kedua Skenario #2	32
Tabel 3. 8 Data Input Unit Bak Klorinasi	32
Tabel 3. 9 Matriks SWOT	34
Tabel 4. 1 Kualitas Air Limbah Domestik.....	35
Tabel 4. 2 Beban Pengolahan Air Limbah	36
Tabel 4. 3 Jumlah Penduduk Wilayah X Tahun 2010 - 2021	37
Tabel 4. 4 Perbandingan Ketiga Metode.....	38
Tabel 4. 5 Proyeksi Penduduk Maju Wilayah X 10 Tahun Kedepan Menggunakan Metode Least Square.....	39
Tabel 4. 6 Kebutuhan Air Bersih Berdasarkan Kategori Kota dan Jumlah Penduduk	40
Tabel 4. 7 Debit Air Limbah Wilayah X.....	42
Tabel 4. 8 Baku Mutu Air Limbah Domestik	42
Tabel 4. 9 Kriteria Desain Unit Bar Screen	44
Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Unit Bar Screen	45
Tabel 4. 11 Kriteria Desain Unit Bak Ekualisasi.....	46
Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan Unit Bak Ekualisasi	47
Tabel 4. 13 Hasil Perhitungan Pompa Bak Ekualisasi.....	47
Tabel 4. 14 Kriteria Desain Unit Lumpur Aktif Konvensional.....	49
Tabel 4. 15 Hasil Perhitungan Unit Bak Lumpur Aktif Konvensional	49

Tabel 4. 16 Kriteria Desain Unit MUCT	52
Tabel 4. 17 Hasil Perhitungan Unit MUCT	53
Tabel 4. 18 Kriteria Desain Unit Bak Sedimentasi Kedua.....	54
Tabel 4. 19 Hasil Perhitungan Bak Sedimentasi Kedua	55
Tabel 4. 20 Kriteria Desain Unit Bak Desinfeksi (Klorinasi)	56
Tabel 4. 21 Hasil Perhitungan Unit Bak Desinfeksi (Klorinasi)	57
Tabel 4. 22 Hasil Simulasi Pemodelan Skenario #1	67
Tabel 4. 23 Hasil Simulasi Pemodelan Skenario #2.....	74
Tabel 4. 24 Perbandingan Hasil Simulasi Pemodelan Skenario #1 dan Skenario #2	76
Tabel 4. 25 Matriks Analisis SWOT Skenario #1	83
Tabel 4. 26 Matriks Analisis SWOT Skenario #2	84
Tabel I. 1 Perhitungan Proyeksi Metode Aritmatik.....	95
Tabel I. 2 Perhitungan Proyeksi Metode Geometrik	97
Tabel I. 3 Perhitungan Proyeksi Metode Least Square.....	98
Tabel I. 4 Perbandingan Ketiga Metode	99
Tabel I. 5 Proyeksi Penduduk Maju Wilayah X 10 Tahun Kedepan Menggunakan Metode Least Square.....	100
Tabel II. 1 Detail Perhitungan Air Limbah Wilayah X.....	102
Tabel IV. 1 Detail Hasil Simulasi Teknologi CAS Selama 48 Jam Pengolahan Pada Software STOAT.....	132
Tabel IV. 2 Detail Hasil Simulasi Teknologi MUCT Selama 48 Jam Pengolahan Pada Software STOAT.....	134

DAFTAR GAMBAR

<i>Gambar 2. 1 Skema Modified University of Cape Town (MUCT) Process</i>	8
Gambar 2. 2 Proses Biokimia Materi Organik Dalam Tahapan Anaerobik	9
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	17
Gambar 3. 2 Diagram Alir Perhitungan Unit Bar Screen	19
Gambar 3. 3 Diagram Alir Perhitungan Unit Bak Ekualisasi	20
Gambar 3. 4 Diagram Alir Perhitungan Unit Lumpur Aktif Konvensional	21
Gambar 3. 5 Diagram Alir Perhitungan Unit MUCT (Bak Anaerobik)	22
Gambar 3. 6 Diagram Alir Perhitungan Unit MUCT (Bak Anoksik)	23
Gambar 3. 7 Diagram Alir Perhitungan Unit MUCT (Bak Aerobik/Oksik).....	24
Gambar 3. 8 Diagram Alir Perhitungan Unit Bak Sedimentasi Kedua	25
Gambar 3. 9 Diagram Alir Perhitungan Unit Bak Klorinasi.....	25
Gambar 3. 10 Flow Proses Skenario #1	26
Gambar 3. 11 Flow Proses Skenario #2.....	26
Gambar 3. 12 Tahapan Penggunaan Software STOAT Version 5.0	27
Gambar 3. 13 Layout Simulasi Perencanaan IPAL Menggunakan Lumpur Aktif Konvensional Pada Software STOAT	28
Gambar 3. 14 Layout Simulasi Perencanaan IPAL Menggunakan Modified University of Cape Town (MUCT) Pada Software STOAT.....	28
Gambar 4. 1 Grafik Pertumbuhan Penduduk Wilayah X Backward Projection ...	38
<i>Gambar 4. 2 Proyeksi Penduduk Wilayah X 10 Tahun Kedepan</i>	40
Gambar 4. 3 Diagram Alir Perhitungan Debit Air Limbah.....	41
Gambar 4. 4 Diagram Alir Rancangan IPAL Wilayah X Menggunakan Lumpur Aktif Konvensional.....	43
Gambar 4. 5 Diagram Alir Rancangan IPAL Wilayah X Menggunakan Proses MUCT	43
Gambar 4. 6 Diagram Alir Proses MUCT	51
Gambar 4. 7 Hasil Perhitungan Manual Perencanaan IPAL Domestik.....	58
Gambar 4. 8 Layout Simulasi Pemodelan Skenario #1 Pada Software STOAT ...	60

Gambar 4. 9 Layout Simulasi Pemodelan Skenario #2 Pada Software STOAT...	60
Gambar 4. 10 Input Data Dimensi Skenario 1 dan Skenario 2	61
Gambar 4. 11 Tahapan Simulasi Model Menggunakan Software STOAT Version 5.0	62
Gambar 4. 12 Hasil Simulasi Pemodelan Perencanaan IPAL Skenario #1 Pada Software STOAT	64
Gambar 4. 13 Perubahan Konsentrasi TN dan TP Skenario #1 Selama 48 Jam ...	66
Gambar 4. 14 Profil Konsentrasi TN dan TP Pada Teknologi CAS	66
<i>Gambar 4. 15 Grafik Hasil Simulasi Pemodelan Skenario #1.....</i>	<i>67</i>
<i>Gambar 4. 16 Hasil Simulasi Pemodelan Perencanaan IPAL Skenario #2 Pada Software STOAT</i>	<i>70</i>
Gambar 4. 17 Perubahan Konsentrasi TN dan TP Skenario #2 Selama 48 Jam ...	72
Gambar 4. 18 Profil Konsentrasi TN dan TP Pada Teknologi MUCT	72
<i>Gambar 4. 19 Grafik Hasil Simulasi Pemodelan Skenario #2.....</i>	<i>74</i>
<i>Gambar 4. 20 Grafik Perbandingan Hasil Simulasi Pemodelan Skenario #1 dan Skenario #2.....</i>	<i>76</i>
<i>Gambar 4. 21 Grafik Kuadran Analisis SWOT Skenario #1 dan Skenario #2</i>	<i>86</i>

NOTASI DAN SINGKATAN

IPAL	: Instalasi Pengolahan Air Limbah
CAS	: <i>Conventional Activated Sludge</i>
MUCT	: <i>Modified University of Cape Town</i>
STOAT	: <i>Sewage Treatment Operation and Analysis over Time</i>
TN	: Total Nitrogen
TP	: Total Fosfor
NH ₃	: Ammonia
NO ₃	: Nitrat
NO ₂	: Nitrit
BOD	: <i>Biological Oxygen Demand</i>
COD	: <i>Chemical Oxygen Demand</i>
TSS	: <i>Total Suspended Solid</i>
IMLR	: <i>Internal Mixed Liquor Recycle</i>
RAS	: <i>Return Activated Sludge</i>
WAS	: <i>Waste Activated Sludge</i>
HRT	: <i>Hydraulic Retention Time</i>
PAOs	: <i>Polyphosphate Accumulating Organism</i>
MLSS	: <i>Mixed Liquor Suspended Solid</i>
SWOT	: <i>Strength Weakness Oppurtunities Treaths</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) merupakan bangunan yang dibangun untuk mereduksi konsentrasi influen yang dihasilkan sehingga konsentrasi dari efluen dapat memenuhi baku mutu dan aman ketika dibuang ke lingkungan. Dalam mengolah air limbah domestik, lumpur aktif konvensional merupakan salah satu jenis unit yang sering digunakan pada IPAL. Hal ini dikarenakan pengoperasiannya yang mudah serta lebih hemat biaya. Akan tetapi, pada saat konsentrasi di air limbah mengalami peningkatan yang cukup tinggi, unit ini tidak dapat menyisihkan kandungan pada air limbah dengan maksimal terutama nitrogen dan fosfor. Penurunan kadar nutrisi di dalam air limbah dapat dilakukan melalui proses UCT (Universitas Cape Town) yang dimodifikasi. *Modified University of Cape Town* yang selanjutnya disingkat dengan MUCT merupakan proses yang dirancang untuk meningkatkan pengolahan air limbah terhadap penghilangan nitrogen dan fosfor dibandingkan dengan proses UCT (Iordache et al., 2014). Perbedaan proses MUCT ini yaitu penyisihan nutrisi yang lebih tinggi dari pengolahan lumpur aktif konvensional.

Meningkatnya jumlah penduduk di suatu daerah berbanding lurus dengan limbah yang dihasilkan, sehingga terjadinya penurunan kualitas air limbah domestik menjadi salah satu permasalahan pengolahan air limbah semakin kompleks. Di Indonesia sendiri, penyisihan nutrisi dalam air limbah pada IPAL masih sangat jarang dilakukan, padahal air limbah domestik dapat mengandung nutrisi yang berpotensi menurunkan kualitas air. Wilayah X merupakan salah satu daerah dengan tingkat sanitasi yang cukup rendah dimana masih kurangnya kesadaran masyarakat mengenai limbah, sehingga

diperlukannya perencanaan IPAL yang juga dapat menyisihkan kandungan nutrisi seperti nitrogen dan fosfor.

Nitrogen dan fosfor merupakan dua jenis bahan pencemar yang sering menjadi perhatian, hal ini dikarenakan pada kadar tertentu nitrogen dan fosfor ini justru memberikan dampak yang kurang baik bagi makhluk hidup. Nitrogen dan Fosfor dalam air limbah biasanya berada dalam bentuk amonia, nitrat dan fosfat. Jika kandungan ketiga pencemar ini berlebih di dalam air limbah, maka akan menyebabkan terjadinya pertumbuhan alga yang cepat di dalam perairan (*algae bloom*) atau eutrofikasi sehingga menyebabkan pergeseran keseimbangan ekosistem (Satria et al., 2019). Apabila penyisihan nutrisi pada IPAL tidak dilakukan, maka akan memberikan dampak negatif seperti penurunan terhadap biodiversitas, meningkatkan potensi berkembangnya jenis fitoplankton berbahaya sehingga menyebabkan berkurangnya DO di dalam air yang berdampak pada penurunan kualitas perairan dan gangguan ekosistem bagi biota laut akibat adanya eutrofikasi.

Berdasarkan penjabaran diatas, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini dilakukan untuk merencanakan unit IPAL di Wilayah X dengan penyisihan nutrisi terbaik dalam pengolahan air limbah. Akan dibandingkan dua jenis unit IPAL yaitu lumpur aktif konvensional dan MUCT sebagai perbandingan dalam penyisihan nitrogen dan fosfor. Pemilihan teknologi lainnya akan mempertimbangkan kualitas dari air limbahnya. Selain itu, perencanaan unit IPAL ini dilakukan pemodelan melalui model simulasi menggunakan *software* STOAT serta pertimbangan penggunaan proses MUCT dengan melakukan analisis SWOT.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana perhitungan manual dari perencanaan IPAL domestik menggunakan unit Lumpur Aktif Konvensional dan *Modified University of Cape Town* (MUCT)?

2. Bagaimana cara merancang model dan menjalankan simulasi pemodelan perencanaan IPAL menggunakan unit Lumpur Aktif Konvensional dan *Modified University of Cape Town* (MUCT)?
3. Bagaimana hasil simulasi dari perencanaan IPAL domestik yang akan dirancang menggunakan unit Lumpur Aktif Konvensional dan *Modified University of Cape Town* (MUCT) terhadap penyisihan nutrien?
4. Teknologi IPAL manakah yang lebih baik dalam menyisihkan nutrien sehingga dapat diterapkan?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Melakukan perhitungan manual perencanaan IPAL domestik sebagai data pendukung pada *software* STOAT *version* 5.0
2. Merancang model dan melakukan simulasi pemodelan perencanaan IPAL menggunakan teknologi Lumpur Aktif Konvensional dan *Modified University of Cape Town* (MUCT) dengan *software* STOAT
3. Menganalisis performa teknologi terbaik terhadap penyisihan nutrien yaitu nitrogen dan fosfor melalui simulasi model menggunakan *software* STOAT.
4. Menganalisis kesesuaian penerapan teknologi IPAL domestik yang dirancang untuk dapat diterapkan menggunakan analisis SWOT.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Memberikan informasi dan gambaran mengenai perencanaan IPAL domestik
2. Mengetahui performa penyisihan nutrien IPAL menggunakan model simulasi *software* STOAT
3. Memberikan informasi dan referensi pembelajaran pada bidang keilmuan Teknik Lingkungan yang berkaitan dengan penyisihan nutrien melalui proses MUCT menggunakan model simulasi *software* STOAT.

1.5 Ruang Lingkup

Adapun lingkup (batasan) dari penelitian ini yaitu:

1. Perencanaan unit IPAL untuk Wilayah X mengacu pada Penyusunan Master Plan Pengelolaan Air Limbah Wilayah X,
2. Kualitas air limbah domestik untuk perencanaan IPAL didapatkan dari studi literatur yang berasal dari beberapa penelitian terdahulu, yang diharapkan karakteristik air limbah ini dapat menjadi gambaran dari kualitas air limbah untuk daerah perencanaan,
3. Kriteria desain dan perhitungan perencanaan unit IPAL mengacu pada Buku B – SPALD-T tahun 2018, buku *Wastewater Treatment and Reuse, Theory and Design Examples, Volume 1 Tahun 2018* karya Syed R. Qasim, serta data literatur lainnya,
4. Baku mutu air limbah domestik mengacu pada PerMen LHK Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik,
5. Model simulasi perencanaan IPAL untuk Lumpur Aktif Konvensional dan *Modified University of Cape Town* (MUCT) dengan menggunakan *software* STOAT hanya berfokus pada penyisihan nitrogen dan fosfor saja yaitu parameter TN dan TP,
6. Data pelengkap lainnya dapat diperoleh melalui buku, jurnal, website resmi, dan lain sebagainya dalam membantu penyusunan laporan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL Domestik)

Air limbah domestik merupakan air buangan yang berasal dari sisa pemakaian dari kegiatan rumah tangga seperti kegiatan dapur, mencuci, mandi, dan lain sebagainya. Air limbah domestik terdiri dari *grey water* dan *black water*. *Grey water* dapat berasal dari air bekas cuci pakaian, kegiatan dapur, dan mandi, sedangkan *black water* merupakan air limbah yang mengandung kotoran manusia. Salah satu sumber polutan terbesar yang dapat meningkatkan pencemaran di perairan yaitu limbah domestik limbah (Susanthi et al., 2018). Pada umumnya, air limbah yang dihasilkan dapat mengandung zat dan bahan berbahaya yang dapat menimbulkan dampak buruk bagi kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya serta dapat juga mengganggu keseimbangan dari lingkungan hidup.

Berdasarkan KepMenKes Nomor 892 Tahun 1999 mengenai persyaratan kesehatan perumahan bahwa pengelolaan air limbah harus dilakukan. Hal ini dikarenakan air limbah yang berasal dari rumah tidak boleh mencemai badan air dan permukaan tanah, serta tidak menimbulkan bau (Purwatiningrum, 2018). Kondisi tersebut dapat diatasi dengan membangun Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik untuk mengolah air limbah yang dihasilkan sebelum dibuang ke badan air. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik atau *Sewage Treatment Plant (STP)* merupakan suatu bangunan yang dirancang untuk membuang limbah biologis dan kimiawi dari air sehingga layak untuk dibuang ke badan air. Adapun tujuan utama dari dibangunnya IPAL Domestik yaitu agar kandungan dari bahan pencemar dapat berkurang terutama senyawa organik, padatan tersuspensi, mikroba patogen,

serta senyawa organik yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme yang berada di alam (Wulandari, 2014).

2.2 Lumpur Aktif Konvensional (Conventional Activated Sludge)

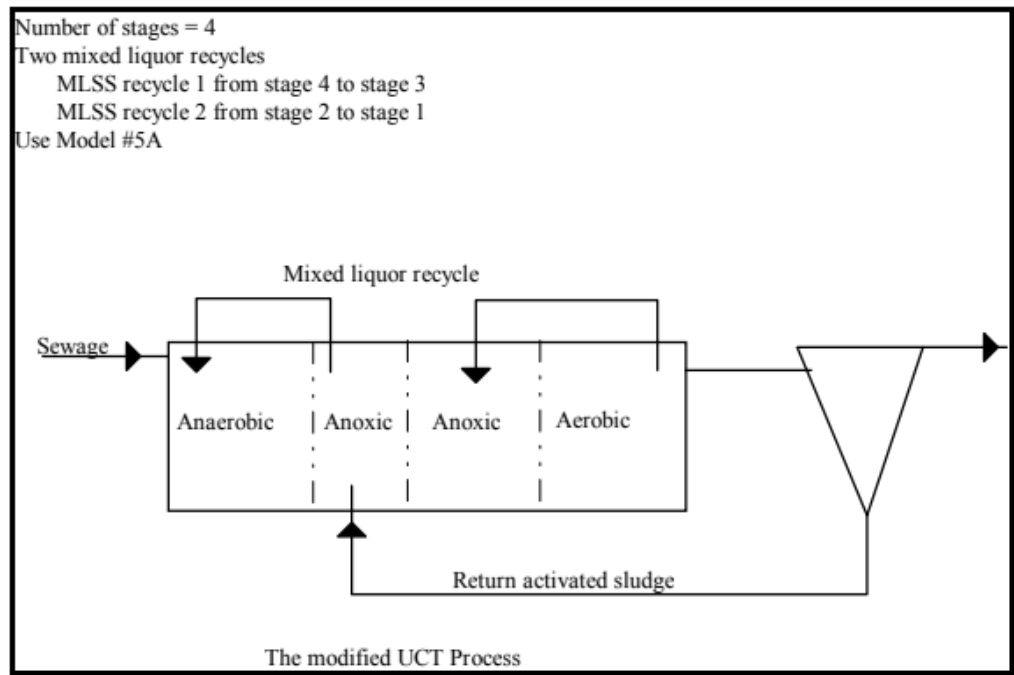
Lumpur aktif konvensional (*Conventional Activated Sludge*) merupakan proses pengolahan aerobik dengan mengoksidasi material organik menjadi CO₂, H₂O, dan sel biomassa baru. Udara akan disalurkan melalui pompa blower (*diffused*) atau melalui aerasi mekanik. Sel mikroba akan membentuk flok yang akan mengendap pada tangki penjernihan (Dwiyono, 2018). Mekanisme dasar pengolahan lumpur aktif ini yaitu dengan menggunakan mikroorganisme untuk memakan kontaminan organik di dalam air limbah, yang kemudian akan menghasilkan limbah berkualitas tinggi. Air limbah yang disaring dicampurkan dengan berbagai jumlah *recycled liquid* yang mengandung organisme dalam jumlah besar yang berasal dari bak sedimentasi sekunder yang disebut dengan *mixed liquor*. Aliran ini diaduk dan diinjeksikan sejumlah udara untuk menyediakan oksigen dan menjaga padatan dalam suspensi. Setelah jangka waktu tertentu, aliran ini dialirkan ke bak sedimentasi sekunder untuk dibiarkan mengendap. Sebagian bakteri dihilangkan saat mengendap, dan aliran ini akan mengalir untuk melewati pengolahan lebih lanjut. Padatan yang mengendap yang dihasilkan oleh unit lumpur aktif akan dikembalikan ke awal yang dikenal dengan istilah *Return Activated Sludge* (RAS) untuk memulai proses kembali (Bhargava, 2016).

Proses lumpur aktif ini dapat menyisihkan BOD, nitrifikasi, serta denitrifikasi. Pada proses nitrifikasi, terjadi oksidasi amonia menjadi nitrit dan nitrat yang dilakukan oleh bakteri. Sedangkan pada proses denitrifikasi, nitrit dan nitrat akan terkonversi menjadi gas, khususnya yaitu gas nitrogen (Ningtyas, 2015). Proses pengolahan air limbah dengan menggunakan lumpur aktif relatif sederhana, akan tetapi pada saat air limbah mengandung bahan-bahan organik, nitrogen, dan fosfor dengan konsentrasi yang cukup tinggi berpotensi menyebabkan *bulking sludge* dikarenakan adanya mikroorganisme berfilamen sehingga menghambat proses sedimentasinya yang menyebabkan efisiensi proses pengolahan air limbah mengalami penurunan (Budianti, 2017).

2.3 *Modified University of Cape Town (MUCT)*

Modified University of Cape Town (MUCT) merupakan proses yang dirancang untuk meningkatkan pengolahan air limbah dari proses UCT. Proses yang terjadi pada MUCT ini terdiri dari 4 tahapan pengolahan yaitu 1 buah bak dengan proses pada kondisi anaerobik yaitu kondisi dimana tidak terdapat oksigen sama sekali baik oksigen bebas, terlarut, maupun gabungan, 2 buah bak dengan proses pada kondisi anoksik yaitu kondisi dimana hanya oksigen dalam bentuk gabungan yang terdapat di dalam air seperti nitrat (NO_3), nitrit (NO_2) dan sulfat (SO_4), serta 1 buah bak dengan proses pada kondisi aerobik yaitu kondisi dimana hanya oksigen bebas dan terlarut yang terdapat di dalam air, dimana pada kondisi ini akan terjadi proses nitrifikasi.

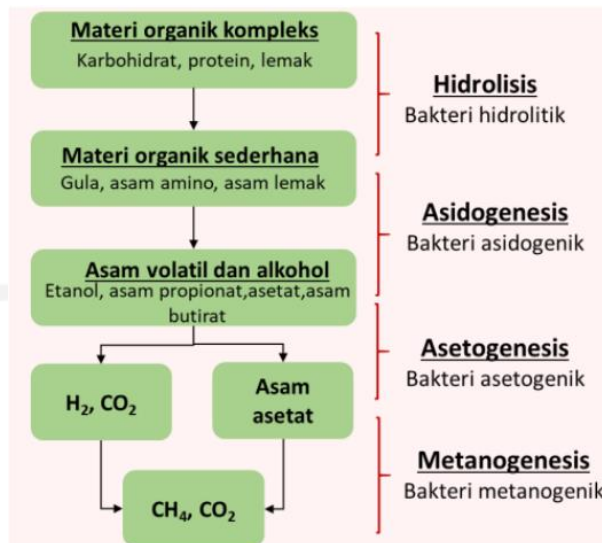
Proses MUCT ini unik dikarenakan zona anoksik dibagi menjadi 2 bak. Bak anaerobik digunakan untuk penghilangan dan pelepasan phosphor, bak anoksik pertama digunakan untuk denitrifikasi sebagian besar nitrat sebelum dikembalikan ke zona anaerobik, bak anoksik kedua digunakan untuk denitrifikasi nitrat dari zona aerobik, dan bak aerobik digunakan untuk oksidasi BOD, nitrifikasi dan penyerapan phosphor. Influen yang diolah dari pengolahan primer akan dicampur dan di daur ulang dengan denitrifikasi anoksik dari bak anoksi pertama dan dipindahkan ke zona anaerobik, dimana kompartemen multi tahap ini digunakan untuk meminimalkan daur ulang nitrat ke zona anaerobik. Aliran air limbah dari zona anaerobik kemudian akan memasuki bak anoksik pertama dan kedua, dan ke zona aerobik tempat nitrifikasi terjadi. Limbah aerobik nitrifikasi di recycle kembali ke zona anoksik bak kedua untuk denitrifikasi (Linden et al., 2001). Proses MUCT ini dikembangkan untuk meminimalkan dampak negatif nitrat yang di *recycle* ke zona anaerobik. MUCT ini merupakan peningkatan kinerja penghilangan nitrogen dan fosfor dibandingkan dengan proses UCT (Iordache et al., 2014).



Gambar 2. 1 Skema Modified University of Cape Town (MUCT) Process

Sumber: (WRc plc, 2013)

Pada pengolahan anaerobik terdapat empat tahapan yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis. Hidrolisis merupakan tahapan pemutusan rantai atau pemecahan molekul bahan organik kompleks menjadi bahan organik yang lebih sederhana dimana karbohidrat dikonversi menjadi gula, protein dikonversi menjadi asam amino, dan lemak dikonversi menjadi asam lemak. Asidogenesis merupakan tahapan perombakan hasil hidrolisis menjadi asam volatile dan alkohol seperti etanol, methanol, asam propionat, asam butirat, dan asam asetat. Proses degradasi asam amino akan menghasilkan ammonia. Asetogenesis merupakan tahapan dimana asam volatile, alkohol dan sebagian materi organik dikonversi menjadi asam asetat, asam formiat, hidrogen (H_2), dan karbondioksida (CO_2) yang dibantu oleh mikroorganisme asetogenik. Selama tahapan ini, BOD dan COD pada substrat akan berkurang dan pH akan menjadi lebih rendah. Metanogenesis merupakan tahapan terakhir pada pengolahan anaerobik, dimana hidrogen dan asam asetat akan diubah menjadi gas metana dan karbondioksida oleh bakteri metanogen. (Kementerian Pekerjaan Umum, 2018)



Gambar 2. 2 Proses Biokimia Materi Organik Dalam Tahapan Anaerobik

Sumber: (Kementerian Pekerjaan Umum, 2018)

2.4 Perbandingan Teknologi CAS dan MUCT

Perbedaan yang terdapat pada teknologi CAS dan MUCT yaitu jumlah bak, proses pengolahan yang terjadi, dan SRT tiap teknologi. SRT untuk teknologi CAS yaitu 5 – 15 hari sedangkan SRT teknologi MUCT yaitu 10 – 30 hari. Pada teknologi CAS hanya terdapat 1 buah bak dimana terjadi pengolahan secara aerobik, aliran yang mengandung mikroorganisme aktif yang dapat menstabilkan bahan organik. Prosesnya terdiri dari aliran air limbah yang masuk ke bak lumpur aktif akan dicampurkan dengan mikroorganisme aktif terutama bakteri dan protozoa yang secara aerobik mendegradasi bahan organik menjadi karbon dioksida, air, sel baru, dan lainnya. Setelah waktu retensi tertentu, aliran akan masuk ke *secondary clarifier* dimana lumpur akan dibiarkan mengendap dan efluen yang diproduksi pada *secondary clarifier* akan dibuang (Bhargava, 2016).

Sedangkan pada teknologi MUCT terdapat 4 buah bak, dimana 1 buah bak anaerobik, 2 buah bak anoksik, dan 1 buah bak aerobik (oksik). Aliran air limbah masuk ke bak anaerobik yang digunakan untuk penghilangan dan pelepasan phosphor dimana PAOs (Polyphosphate Accumulating Organism) akan mengkonsumsi polifosfat dan melepaskan fosfor dalam bentuk ortofosfat.

Kemudian bak anoksik pertama digunakan untuk denitrifikasi sebagian besar nitrat sebelum dikembalikan ke zona anaerobik, bak anoksik kedua digunakan untuk denitrifikasi nitrat dari zona aerobik, dimana proses denitrifikasi ini dibantu oleh bakteri *Pseudomonas* yang merupakan bakteri heterotrof yang mampu menguraikan nitrat (NO_3) menjadi nitrit (NO_2) yang kemudian dilepaskan ke udara menjadi gas nitrogen (N_2). Selanjutnya bak aerobik digunakan untuk oksidasi BOD, nitrifikasi dan penyerapan phosphor. Nitrifikasi yang terjadi pada bak aerobik ini merupakan proses dimana ammonia (NH_3) atau nitrogen ammonium (NH_4) dioksidasi dengan bantuan bakteri *Nitrosomonas* yang merupakan bakteri autotrof menjadi nitrit (NO_2), kemudian nitrit (NO_2) akan dioksidasi dengan bantuan bakteri *Nitrobacter* menjadi nitrat (NO_3). Pada bak aerobik, PAOs akan mengkonsumsi ortofosfat dan menyimpan senyawa fosfor dalam dirinya sebagai polifosfat dan dengan bantuan energi yang dihasilkan akan digunakan untuk menyerap senyawa organik (BOD) yang terdapat pada air limbah. Fosfor yang disimpan dalam mikroorganisme akan dihilangkan bersamaan dengan air limbah ketika masuk ke bak sedimentasi kedua dan terbuang melalui lumpur atau WAS (Waste Activated Sludge) (James E. Huff & Darryl Carstensen, 2015). Pada teknologi MUCT juga terjadi 2 resirkulasi dimana resirkulasi pertama merupakan *Internal Mixed Liquor Recycle* (IMLR) nitrat yang akan membawa aliran yang banyak mengandung nitrat (NO_3) dari bak aerobik (oksik) kembali menuju bak anoksik kedua untuk dilakukan denitrifikasi nitrat (NO_3), sedangkan resirkulasi kedua merupakan *Internal Mixed Liquor Recycle* (IMLR) anaerobik yang akan membawa aliran untuk di denitrifikasi dari bak anoksik pertama menuju bak anaerobik (James E. Huff & Darryl Carstensen, 2015). Detail perbedaan antara teknologi CAS dan MUCT dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini:

Tabel 2. 1 Perbandingan Teknologi CAS dan MUCT

Karakteristik	Conventional Activated Sludge (CAS)	Modified University of Cape Town (MUCT)
SRT (hari)	5 - 15*	10 – 30***
F/M ratio (/hari)	0.2 - 0.6*	0.1 - 0.2****
HRT (Jam)	2 - 8.5*	Anaerobik = 1 - 2****
		Anoksik 1 = 1 - 2****
		Anoksik 2 = 2 - 3****
		Aerobik (Oksik) = 4 - 12****
		HRT Total = 8 - 18****
MLSS (mg/l)	2500 - 4000*	2000 - 4000***
Return/Recycle Ratio	0.25 - 1	Rmlr = 2 - 4**** Rir = 1 - 3**** Rrs = 0.8 - 1****
Aliran kembali (IMLR)	-	2 kali (dari bak aerobik ke bak anoksik 2 dan dari bak anoksik 1 ke bak anaerobik)
Proses Kimia**	Nitrifikasi	Nitrifikasi dan Denitrifikasi
Nitrifikasi	COHNS (bahan organik)+ O ₂ + nutrients ⇌ CO ₂ + NH ₄ + C ₅ H ₇ NO ₂ (sel baru)	
	C ₅ H ₇ NO ₂ + 5O ₂ ⇌ 5CO ₂ + 2H ₂ O + NH ₄ + energy	
	2NH ₄ + 3O ₂ ⇌ 2NO ₂ + 4H ₂ O + 4H + Sel baru	
Denitrifikasi	2NO ₂ + 0 ₂ ⇌ 2NO ₃ + Sel baru	
	Tidak ada	NO ₃ + BOD ⇌ N ₂ + CO ₂ + H ₂ O + OH
Kelebihan	Kebutuhan lahan yang lebih sedikit daripada MUCT, efisiensi removal yang baik, operasional yang lebih mudah	Dapat menyisihkan TN dan TP dengan baik, efisiensi removal yang lebih baik daripada CAS, biaya operasional yang rendah
Kekurangan	Tidak dapat menyisihkan kandungan TN dan TP dengan baik, berpotensi menyebabkan <i>bulking sludge</i> , efluen yang dihasilkan tidak sebaik MUCT	Kebutuhan lahan yang lebih luas, konsep pengolahan operasional yang sedikit lebih sulit dari CAS, konsumsi energi yang besar

(Sumber : *Buku B – SPALD-T, 2018 ; **Judd, 2006 ; ***McHarg, 2002 ; ****Qasim, 2018

2.5 Nutrien

Nitrogen (TN) dan fosfor (TP) merupakan nutrien yang berada di perairan, dimana kedua nutrien ini merupakan jenis bahan pencemar yang mana pada kadar tertentu akan memberikan dampak yang kurang baik bagi makhluk hidup diantaranya yaitu akan menyebabkan terjadinya peningkatan pertumbuhan alga sehingga terjadinya *algae bloom* (Satria et al., 2019). Komponen nitrogen di dalam air limbah yang berpotensi menimbulkan polusi apabila terdapat dalam jumlah yang banyak yaitu ammonium (NH_4), nitrit (NO_2), nitrat (NO_3). Fosfor yang terdapat di dalam air berada dalam bentuk ortofosfat. Senyawa fosfor yang berada dalam air limbah kebanyakan berasal dari fosfat yang terdiri dari tiga bentuk yaitu ion ortofosfat primer H_2PO_4^- , ortofosfat sekunder HPO_4^{2-} , dan PO_4^{3-} (Hidayat et al., 2018). Menurut EPA (1996) batas maksimal TN yaitu sebanyak 10 mg/l, sedangkan menurut (Curtin et al., 2011) batas maksimal TP yaitu < 10 mg/l.

2.6 Pemodelan

Model merupakan suatu bentuk representasi dari sistem yang ada di dalam kehidupan nyata sebagai fokus perhatian serta menjadi pokok permasalahan. Pemodelan juga dapat didefinisikan sebagai proses dalam pembentukan model dari sistem yang menggunakan bahasa formal tertentu (Suryani, 2006 dalam Rilisavitri, 2021). Model merupakan suatu alat yang berguna dalam merancang, menganalisis, serta mengoperasikan suatu sistem. Pemodelan juga berfungsi untuk menunjukkan bagaimana suatu operasi dapat bekerja serta merangsang untuk berpikir bagaimana memperbaiki ataupun meningkatkannya. Diharapkan dengan dilakukannya pemodelan maka lebih mudah juga dalam melakukan analisis. Adapun prinsip dari pemodelan yang memiliki tujuan untuk mempermudah analisis dan pengembangan dari sistem yang sudah ada (Dewi, 2013 dalam Rilisavitri, 2021). Percobaan dengan menggunakan model merupakan cara agar dapat menghasilkan rancangan ataupun keputusan operasional menggunakan waktu yang lebih singkat dengan biaya yang lebih murah jika dibandingkan dengan menggunakan sistemnya secara langsung. Terlebih lagi jika sistem IPAL tersebut memang belum ada

ataupun uji coba pelaksanaannya membutuhkan biaya yang banyak dan bersifat merusak (Ibrahim, 2007). Pemodelan memberikan kemudahan ketika akan melakukan analisis, mengoptimasi, dan melakukan kontrol yang lebih baik terhadap kinerja dari seluruh unit IPAL (Hassan & Mostafa, 2019). Penyisihan nutrien pada perencanaan unit IPAL dapat dilakukan dengan pemodelan untuk memperoleh kinerja IPAL dalam menghilangkan kandungan nutrien di dalam air limbah.

2.7 STOAT

Dalam melakukan peningkatan kinerja IPAL, dapat dilakukan dengan memodelkan IPAL dengan menggunakan perangkat lunak pemodelan seperti STOAT. STOAT merupakan aplikasi yang dikembangkan oleh *Water Research Center (WRC)* yang berasal dari Inggris dimana aplikasi pemodelan ini paling banyak digunakan dalam mensimulasikan IPAL (Gao et al., 2016). STOAT (*Sewage Treatment Operation and Analysis over Time*) merupakan program berbasis komputer yang dirancang untuk dapat mensimulasikan kinerja dari IPAL (Hassan & Mostafa, 2019). Dengan menggunakan STOAT, maka penggunaannya akan dapat merancang sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), menentukan bagaimana setiap unit terhubung dan dioperasikan, serta memprediksi kinerja dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dalam kurun waktu tertentu (O et al., 2020). *Software* STOAT juga dapat digunakan untuk aplikasi lainnya termasuk merancang pekerjaan pengolahan limbah baru, merancang perluasan pekerjaan pengolahan limbah yang ada, mengembangkan praktik operasional baru, serta dapat juga menguji suatu situasi pada IPAL (W. Wang et al., 2019).

2.8 Penelitian Terdahulu

Terdapat sumber penelitian untuk membantu simulasi yang akan dilakukan pada penelitian ini. Pada Tabel 2.2 berikut ini merupakan beberapa contoh sumber yang digunakan:

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu

Topik	Unit	Skenario	Hasil	Referensi
STOAT Model : IAWQ #1	Oxidation Ditch	Mensimulasikan kinerja parit oksidasi dalam penyisihan konsentrasi TN, TP, dan COD menggunakan software STOAT.	Konsentrasi TN, TP, dan COD pada influen sebesar 57,4 mg/L; 6,24 mg/L; dan 362,7 mg/L, sedangkan konsentasi pada efluen yaitu sebesar 30,3 mg/L; 4,52 mg/L; dan 25,7 mg/L. Konsentrasi TN dan TP pada efluen tidak terlalu dipengaruhi oleh perubahan konsentrasi TN dan TP pada influen. Peningkatan debit air cenderung menurunkan efisiensi penyisihan COD.	Wang, W., Shi, C., Yang, J., Zeng, M., & Dai, Z. (2019). Modelling Performance of Oxidation Ditch in Wastewater Treatment Plant by STOAT Software. <i>IOP Conference Series: Earth and Environmental Science</i> , 300(3).
STOAT Model : BOD dan Activated	Primary Clarifier Oxidation Ditch	Membandingkan efisiensi pengolahan aktual dengan literatur terkait, dan mensimulasikan proses	Penyisihan BOD, COD, dan TSS berturut-turut yaitu sebesar 90%, 93,02%, dan 96,12% dan telah memenuhi standar efluen yang mengacu pada Peraturan Menteri Negaa Lingkungan Hidup Nomor 3 Tahun 2010.	O, M. P. G., Mochammad, A. P., Sandyanto, A., & M, H. D. (2020). Modeling Performance

Sludge Model 1 (ASM 1)		dan pengoperasian IPAL menggunakan software STOAT.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa performa kinerja IPAL terutama dipengaruhi oleh debit, diikuti oleh beban influen, <i>sludge wastage flow</i> , dan MLSS.	of Industrial Park Wastewater Treatment Plant by STOAT software. In <i>E3S Web of Conferences</i> .
Perhitungan manual teknologi MUCT	<i>Modified University of Cape Town (MUCT)</i>	Peningkatan pengolahan IPAL Desa Barrington yang menggunakan teknologi lumpur aktif menjadi teknologi MUCT untuk pengolahan BNR	Implementasi BNR akan membutuhkan sistem pengolahan biologis yang jauh lebih rumit. Teknologi MUCT perlu dioperasikan dengan SRT yang jauh lebih pendek yaitu sekitar 14 hari sampai dengan 18 hari jika dibandingkan dengan teknologi saat ini yaitu rata-rata 68 hari.	James E. Huff & Darryl Cartensen. (2015). <i>Phosphorus Removal Feasibility Report For The Barrington Wastewater Treatment Facility</i> .

BAB III

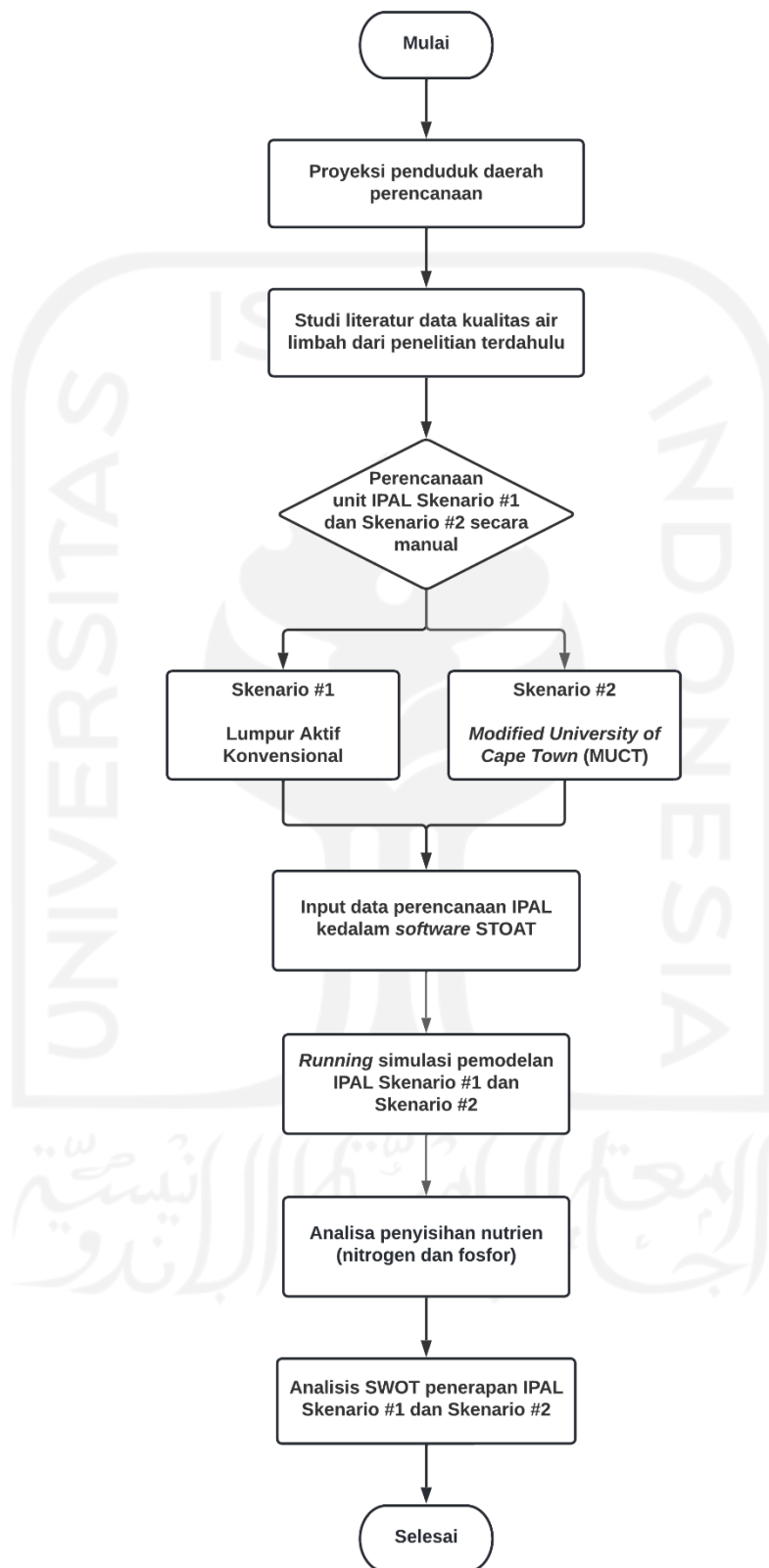
METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Lokasi penelitian ini direncanakan untuk Wilayah X, dimana waktu dalam pelaksanaan penelitian ini direncanakan berlangsung selama 6 bulan dimulai dari Desember 2021 hingga Juni 2022. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data studi literatur pada penelitian yang dilakukan sebelumnya. Dengan tujuan untuk menganalisis penyisihan nutrisi yaitu nitrogen dan fosfor dalam perencanaan unit IPAL, maka ditetapkan beberapa variabel sebagai penunjang dalam pelaksanaan penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- a. Variabel bebas: Proses model ASAL5A
- b. Variabel terikat: penyisihan konsentrasi nutrisi yaitu nitrogen dan fosfor pada perencanaan unit IPAL

Pada metode penelitian, adapun diagram alir metode penelitian yang dapat digunakan untuk mendapatkan gambaran dari kegiatan yang akan dilakukan selama proses penelitian. Adapun diagram alir dari penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini:

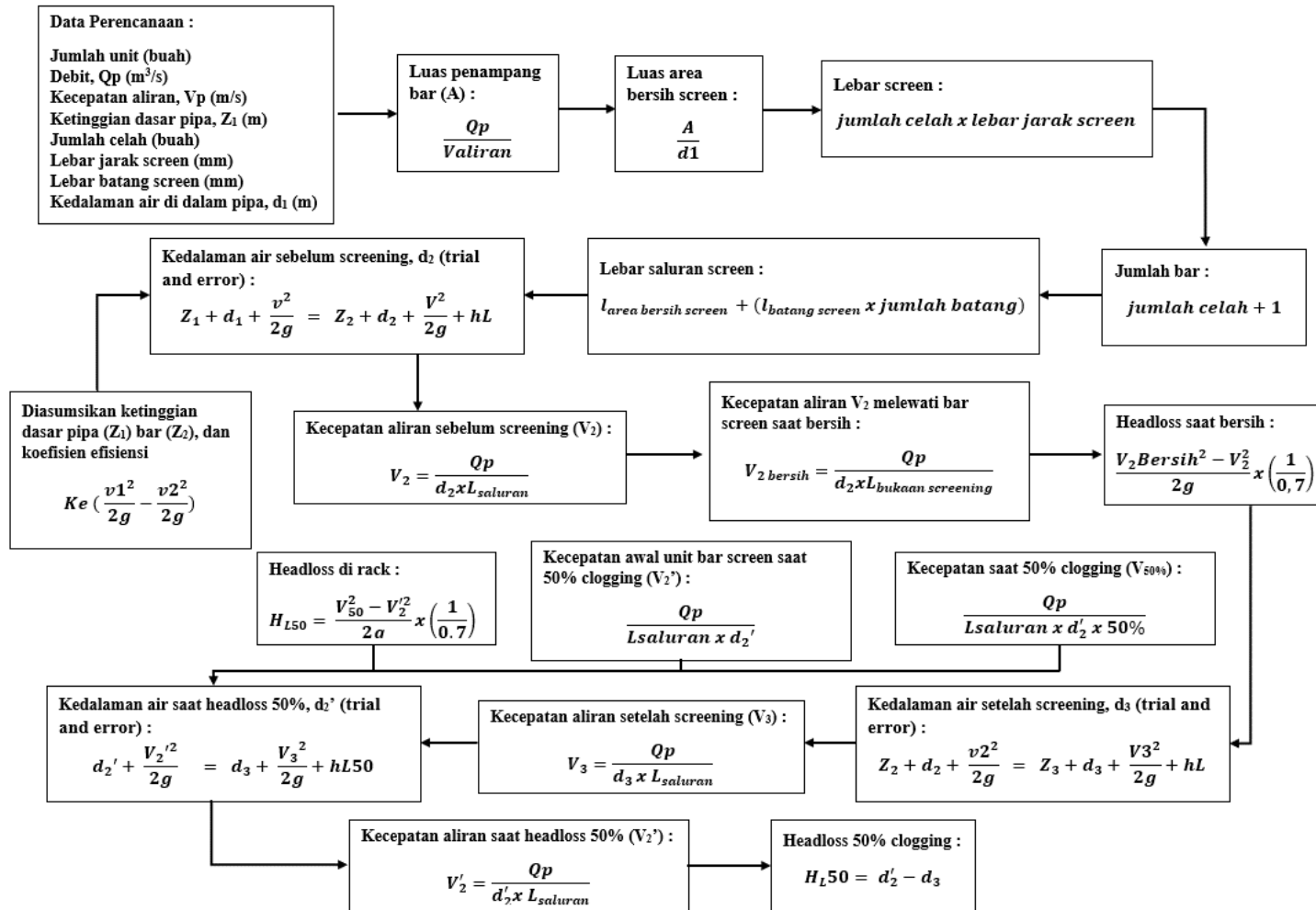


Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

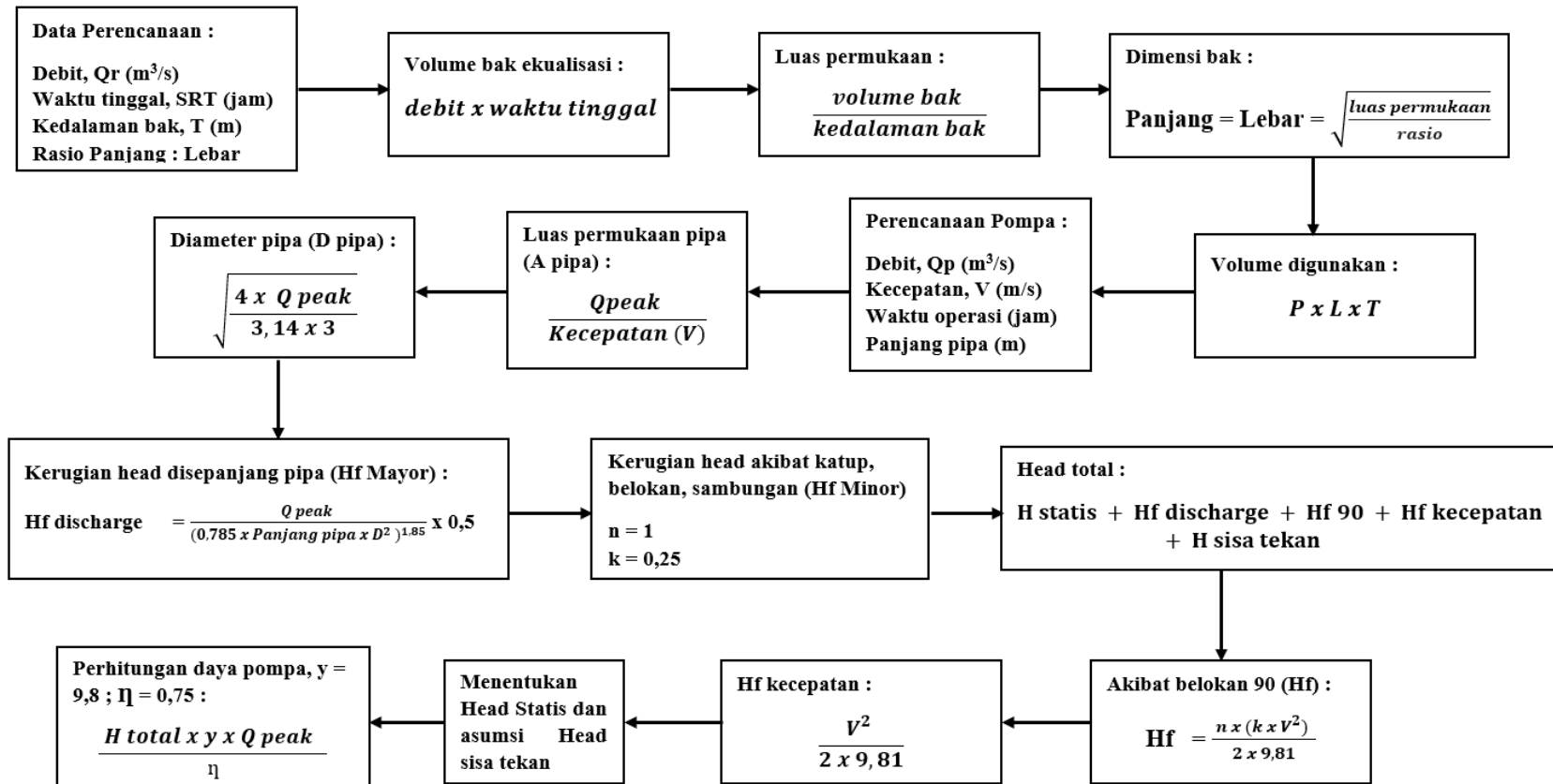
3.2 Rancangan Perencanaan Unit IPAL

Pada penelitian ini direncanakan unit IPAL untuk Wilayah X dimana unit yang digunakan mengacu Penyusunan Master Plan Pengelolaan Air Limbah Wilayah X. Perhitungan dimensi dari setiap unit IPAL yang akan dirancang akan mengikuti alur perhitungan berdasarkan data karakteristik air limbah domestik dan debit air limbah. Hasil rancangan unit IPAL ini harus dapat memenuhi desain kriteria dari setiap unitnya. Dari Gambar 3.2 sampai dengan Gambar 3.9 berikut ini merupakan diagram alir perhitungan rancangan setiap unit IPAL:

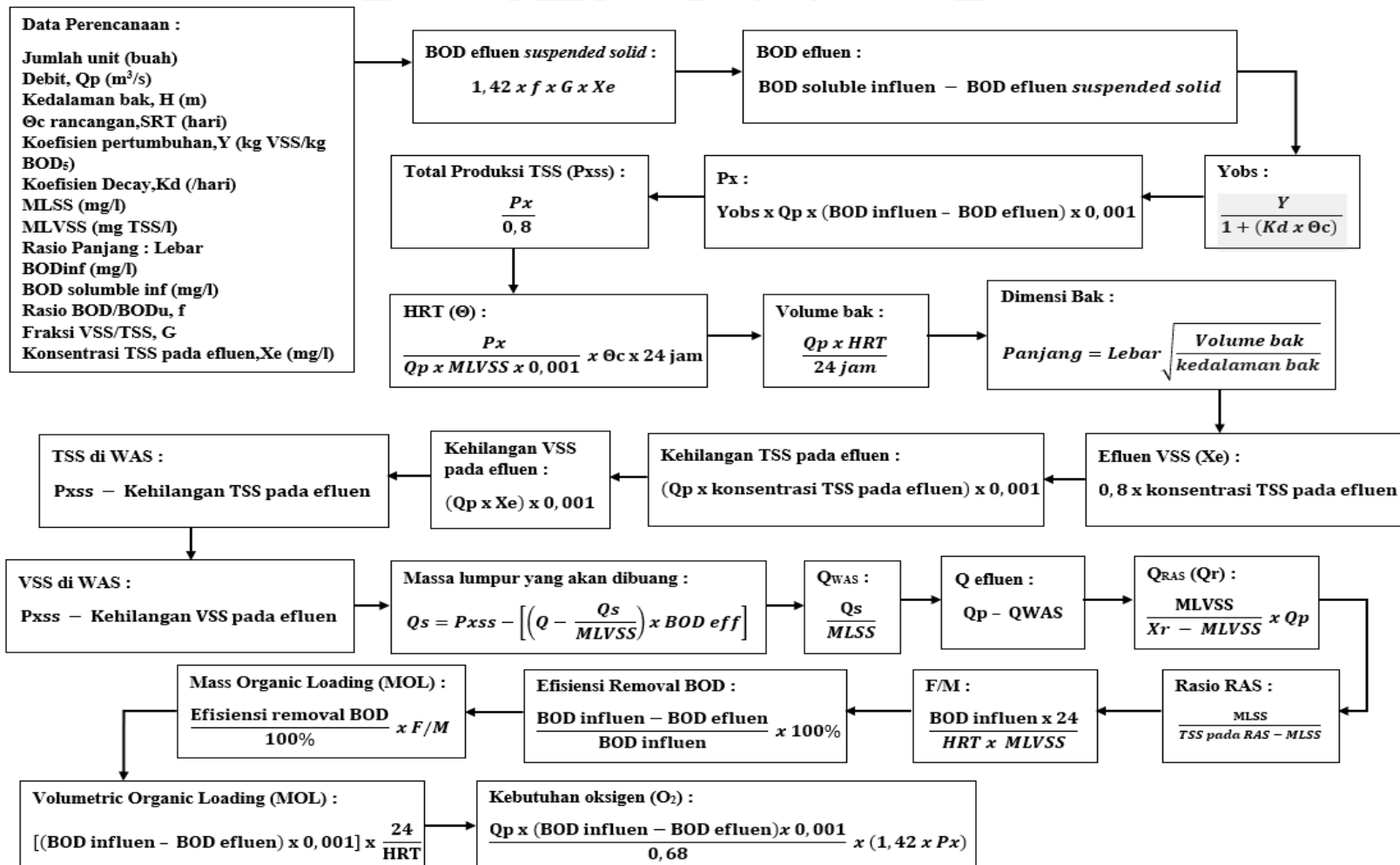




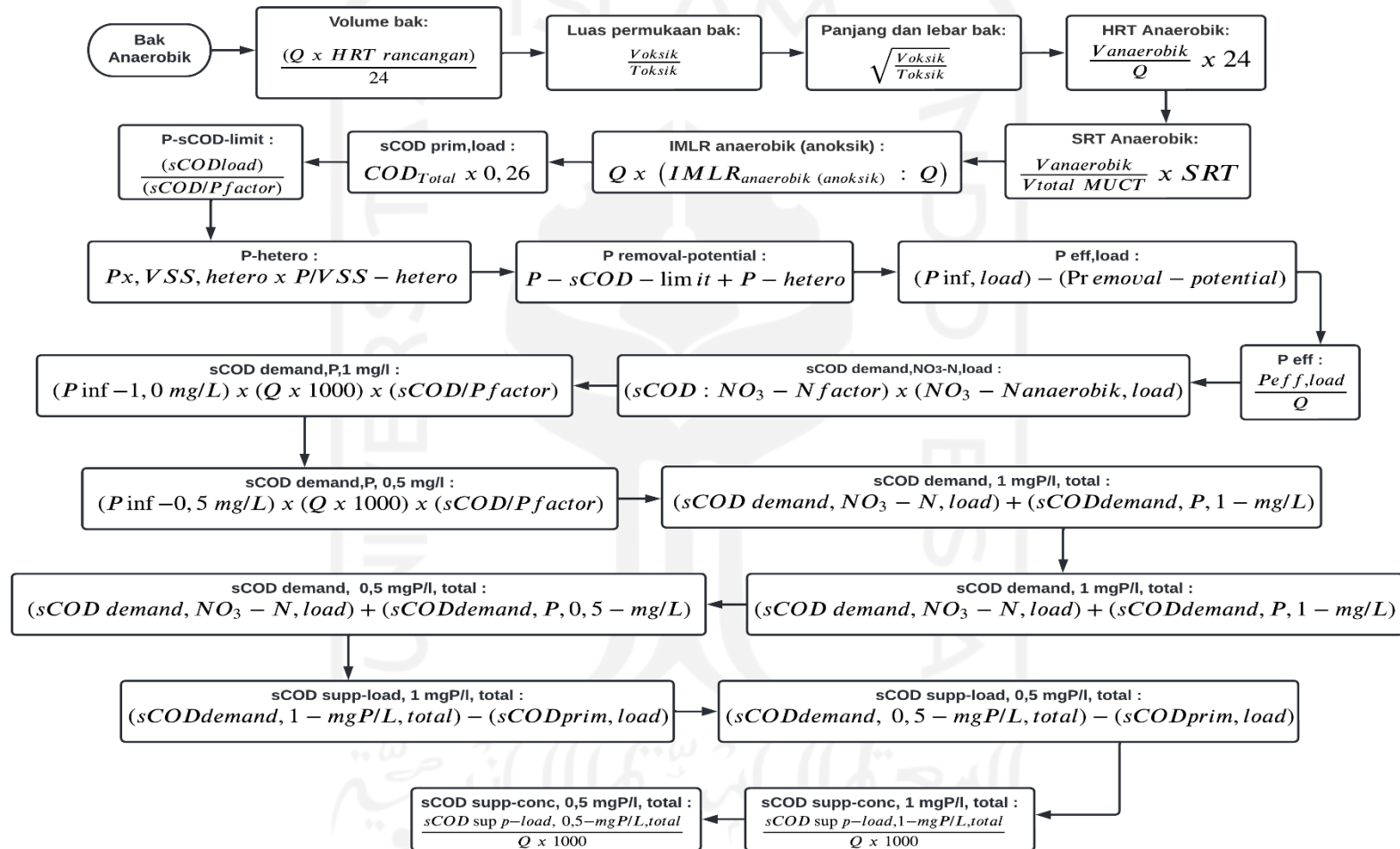
Gambar 3. 2 Diagram Alir Perhitungan Unit Bar Screen



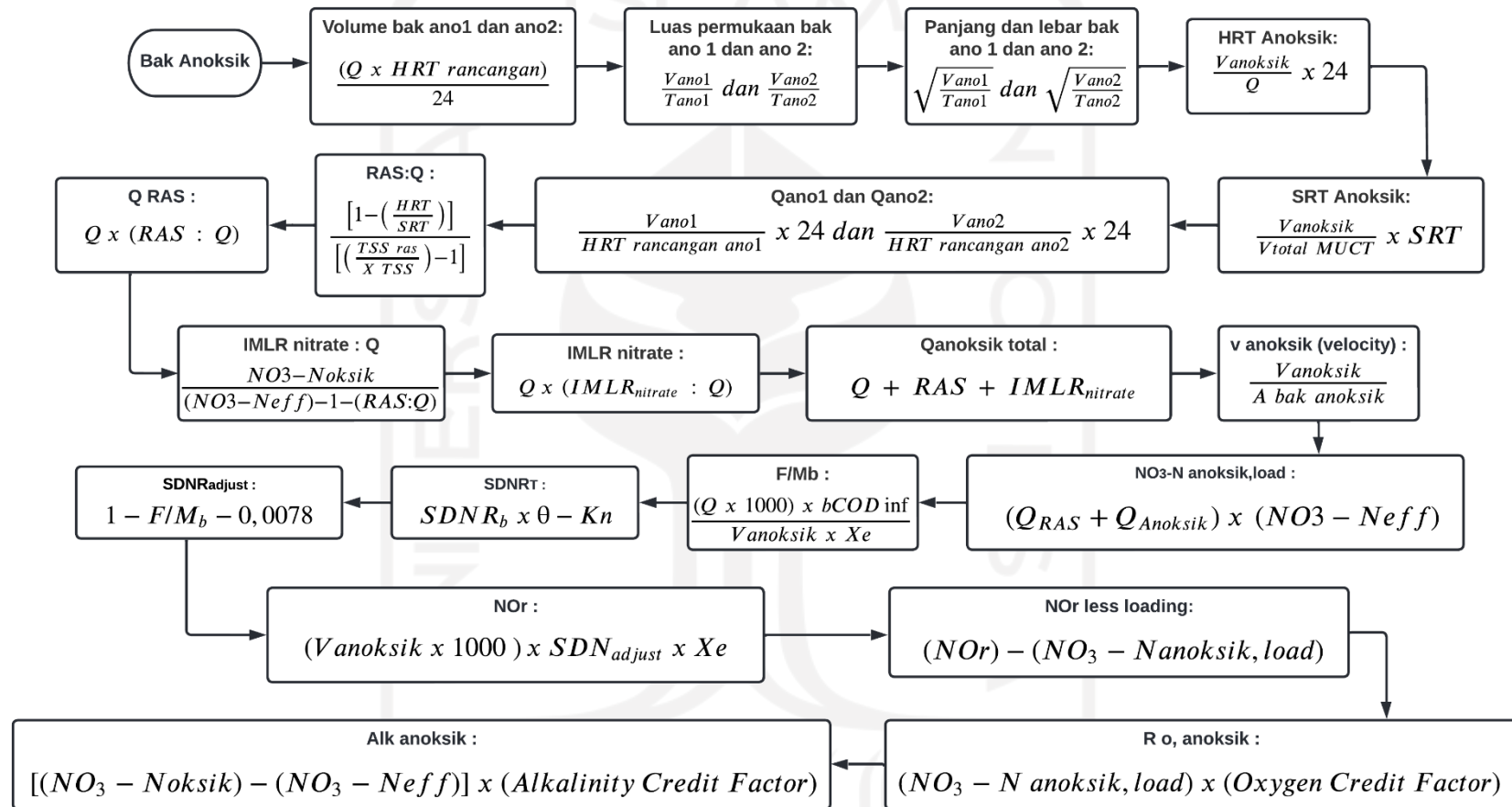
Gambar 3. 3 Diagram Alir Perhitungan Unit Bak Ekualisasi



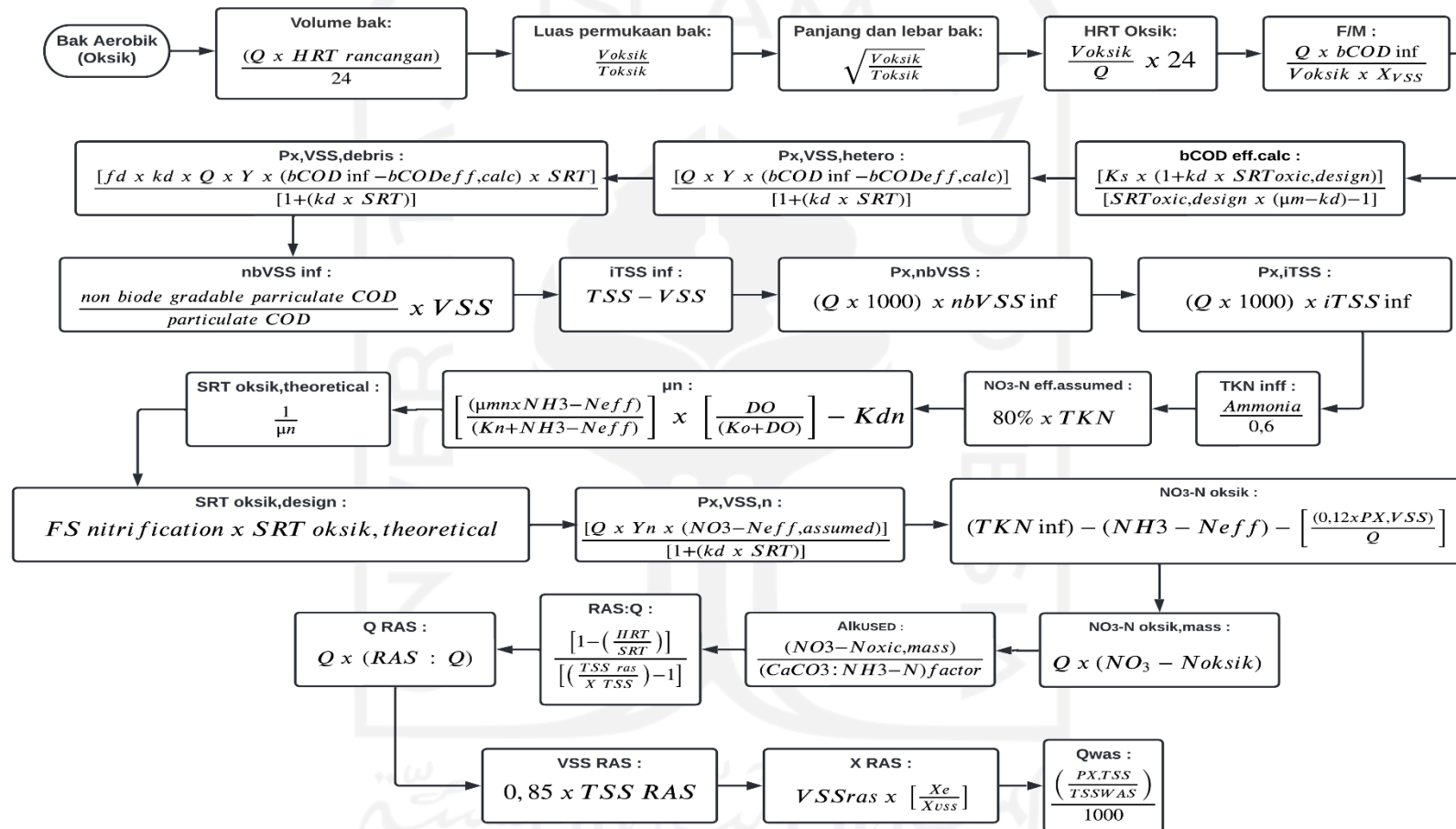
Gambar 3. 4 Diagram Alir Perhitungan Unit Lumpur Aktif Konvensional



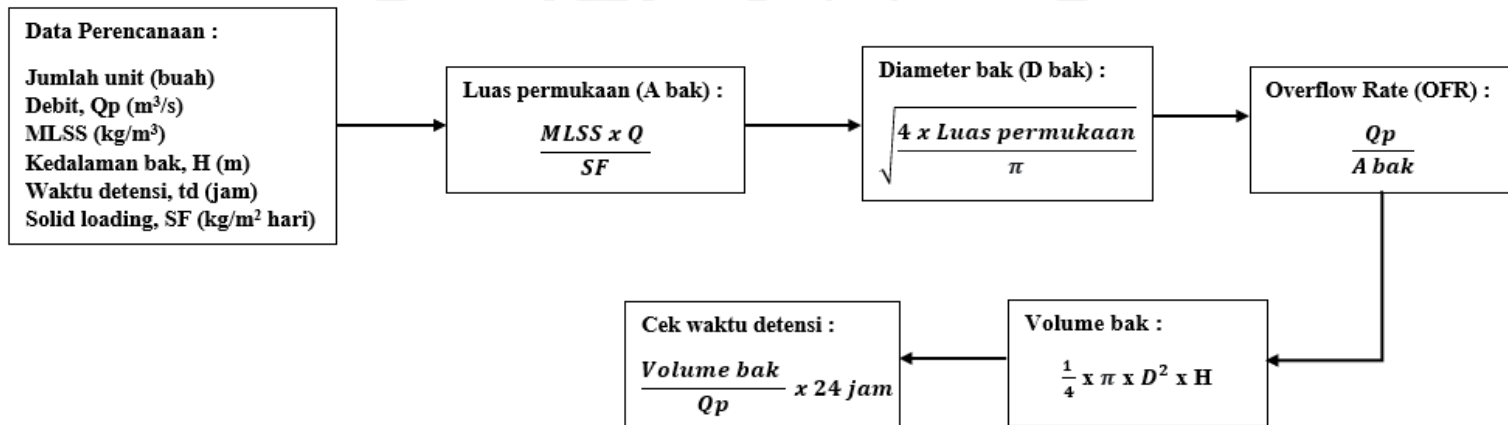
Gambar 3. 5 Diagram Alir Perhitungan Unit MUCT (Bak Anaerobik)



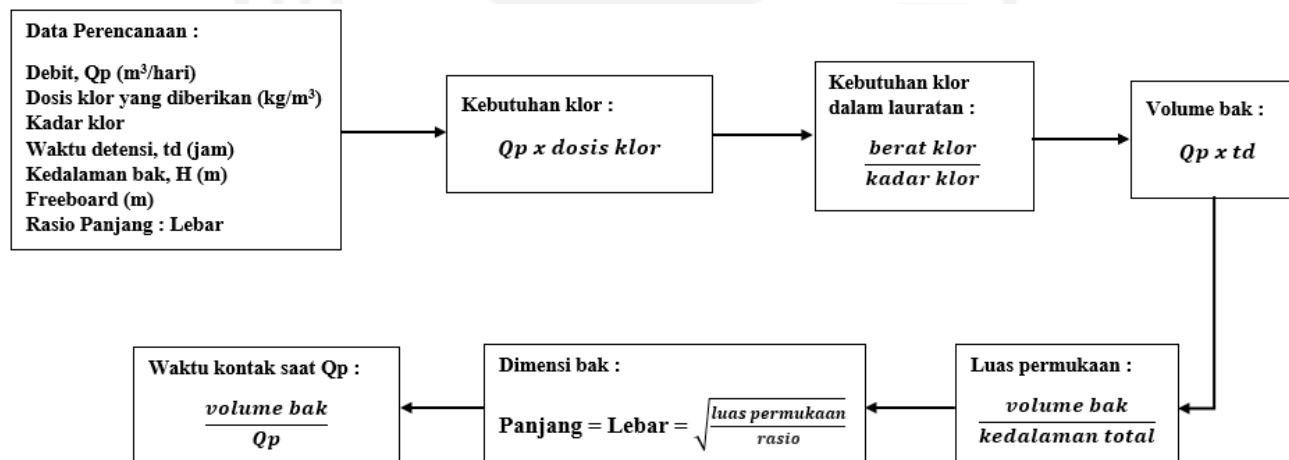
Gambar 3. 6 Diagram Alir Perhitungan Unit MUCT (Bak Anoksik)



Gambar 3. 7 Diagram Alir Perhitungan Unit MUCT (Bak Aerobik/Oksik)



Gambar 3. 8 Diagram Alir Perhitungan Unit Bak Sedimentasi Kedua

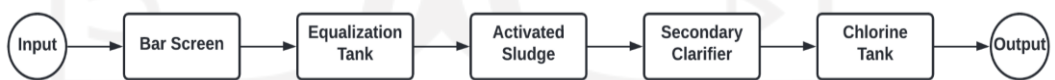


Gambar 3. 9 Diagram Alir Perhitungan Unit Bak Klorinasi

3.3 Tahapan Penelitian

Seperti yang sudah dijabarkan bahwa perencanaan unit IPAL untuk Wilayah X mengacu pada Penyusunan Master Plan Pengelolaan Air Limbah Wilayah X. Selanjutnya akan dilakukan perhitungan setiap unit perencanaan IPAL yang kemudian akan dilakukan pemodelan untuk mengetahui performa dari perencanaan unit IPAL yang dirancang. Direncanakan akan terdapat dua perencanaan IPAL dimana perbedaan dari kedua perencanaan ini terletak pada unit *secondary treatment*nya. *Secondary treatment* dari perencanaan unit IPAL pertama yaitu menggunakan lumpur aktif konvensional dan perencanaan unit IPAL kedua menggunakan *Modified University of Cape Town* (MUCT) yang merupakan proses yang dirancang untuk meningkatkan pengolahan air limbah terhadap penghilangan nitrogen dan fosfor. Berikut penjabaran tahapan yang akan dilakukan:

1. Melakukan perhitungan unit IPAL untuk dua perencanaan yang dirancang guna mengetahui dimensi dari setiap unit, debit, volume, dan HRT.
2. Membuat Skenario #1 untuk perencanaan unit IPAL yang terdiri dari unit *Bar Screen*, *Equalization Tank*, *Activated Sludge*, *Secondary Clarifier*, dan *Chlorine Tank* dengan menggunakan *software* STOAT terhadap penyisihan nitrogen dan fosfor.



Gambar 3. 10 Flow Proses Skenario #1

3. Membuat Skenario #2 untuk perencanaan unit IPAL dimana dilakukan modifikasi pada unit lumpur aktif (*activated sludge*) menggunakan proses *Modified University of Cape Town* (MUCT) dengan menggunakan *software* STOAT terhadap penyisihan nitrogen dan fosfor.



Gambar 3. 11 Flow Proses Skenario #2

4. Analisa hasil penyisihan nutrisi yaitu nitrogen dan fosfor dari 2 skenario yang telah dilakukan.
5. Melakukan analisis SWOT terhadap penyisihan nutrisi yaitu nitrogen dan fosfor sebagai pertimbangan dalam menentukan skenario terbaik terhadap penyisihan nutrisi dalam air limbah pada perencanaan IPAL.

3.4 Model STOAT

STOAT merupakan aplikasi pemodelan komputer yang dirancang guna mensimulasikan kinerja IPAL. Pemodelan IPAL menggunakan aplikasi STOAT terbukti memiliki keunggulan dikarenakan dapat menghemat waktu dan biaya, dimana pemodelan IPAL ini sudah umum dilakukan di Eropa timur dan tengah (Hassan & Mostafa, 2019). Terdapat beberapa tahapan yang dilakukan untuk membentuk model hingga memperoleh hasil simulasi yang diinginkan. Berikut merupakan tahapan sederhana dalam penggunaan *software* STOAT version 5.0 yang dapat dilihat pada Gambar 3.12 dibawah ini:

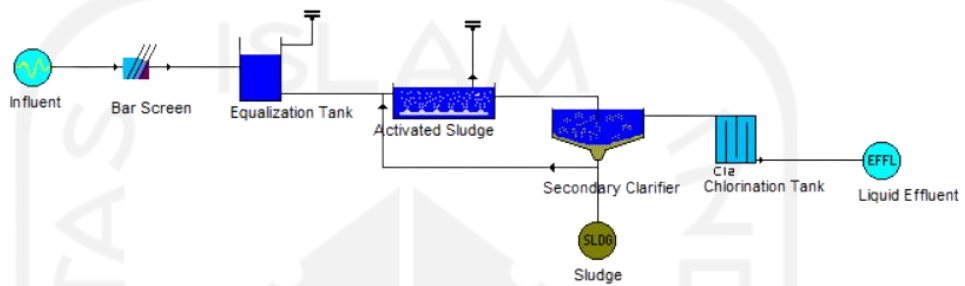


Gambar 3. 12 Tahapan Penggunaan Software STOAT Version 5.0

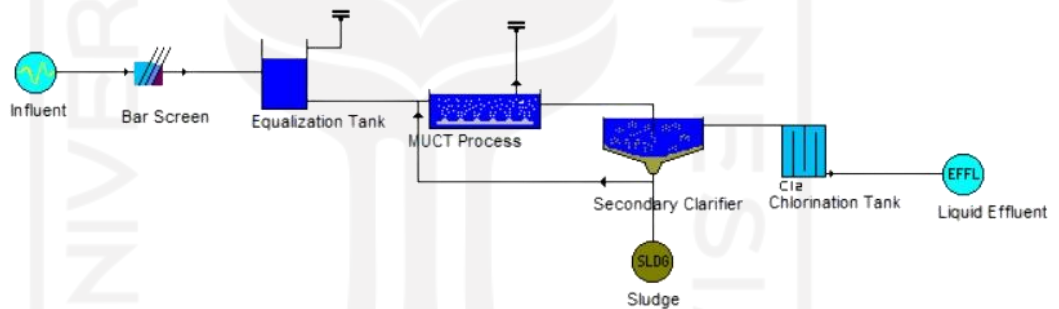
Sumber: (WRc plc, 2013)

Penelitian ini dilakukan dengan membuat 2 skenario yang berbeda. Skenario pertama yaitu perencanaan unit IPAL dengan menggunakan lumpur aktif konvensional sebagai unit *secondary treatment*, Sedangkan

skenario kedua yaitu unit lumpur aktif konvensional dimodifikasi dengan menggunakan proses MUCT. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan penyisihan nutrien yaitu nitrogen dan fosfor dari kedua skenario yang telah dirancang. Adapun layout skenarionya dapat dilihat pada Gambar 3.13 dan Gambar 3.14 berikut ini:



Gambar 3. 13 Layout Simulasi Perencanaan IPAL Menggunakan Lumpur Aktif Konvensional Pada Software STOAT



Gambar 3. 14 Layout Simulasi Perencanaan IPAL Menggunakan Modified University of Cape Town (MUCT) Pada Software STOAT

3.5 Data Input STOAT

Dalam melakukan *running* simulasi model dibutuhkan beberapa data input untuk mengetahui performa dari perencanaan unit ipal yang akan dirancang. Berdasarkan tutorial dari (WRc plc, 2013), Tabel 3.1 berikut ini merupakan data input kualitas air limbah yang diperlukan untuk melakukan simulasi model dalam penelitian ini, dimana tidak terdapat perbedaan data input untuk skenario 1 dan skenario 2:

Tabel 3. 1 Data Input Simulasi Pemodelan IPAL Skenario #1 dan Skenario #2

Parameter	Persamaan	Nilai	Satuan
TSS Total ^a		141	mg/l
Volatile solids	0,7 x TSS Total	98.7	mg/l
Non volatile solids	0,3 x TSS Total	42.3	mg/l
COD Total ^b		250	mg/l
Soluble inert COD	0,07 x COD Total	17.5	mg/l
Particulate inert COD	0,15 x COD Total	37.5	mg/l
readily biodegradable COD (rbCOD)	0,195 x COD Total	48.75	mg/l
Volatile Fatty Acids (VFA)	0,15 x rbCOD	7.313	mg/l
BOD Total ^c		128	mg/l
Particulate BOD (pBOD)	0,5 x TSS Total	70.5	mg/l
Soluble BOD (sBOD)	BOD Total - pBOD	57.5	mg/l
Ammonia (NH₃)		19.5	mg/l
Total Nitrogen (TN)		34.81	mg/l
Nitrat		7	mg/l
Organik Nitrogen (ON) ^a		8	mg/l
soluble Oraganik Nitrogen (sON)	(0,06 x TN) + (0,03 x TN)	3.13	mg/l
particulate Oraganik Nitrogen (pON)	ON - sON	4.87	mg/l
Total Phosphorus (TP)		12	mg/l
Soluble fosfat ^d	33% x TP	3.96	mg/l
Dissolved Oxygen (DO)		1	mg/l
Viable heterotrophs		1	mg/l
Viable autotrophs		0.1	mg/l

Sumber : ^a(Martins et al., 2021), ^b(Henze et al., 2008), ^c(Cardona, 2018), ^d(Li & Brett, 2015)

Selain data input pada Tabel 3.1, dalam melakukan running model STOAT juga dibutuhkan data input dari setiap unit yang digunakan. Dari Tabel 3.2 sampai dengan Tabel 3.8 merupakan detail data input dari setiap unit yang digunakan:

Tabel 3. 2 Data Input Unit Bar Screen

Data Input	Nilai	Satuan
Bar spacing	0.025	m

Tabel 3. 3 Data Input Unit Bak Ekualisasi

Data Input	Nilai	Satuan
Volume	27.8	m3
Hydraulic age	1	jam
Soluble BOD	57.5	mg/l
Soluble inert COD	17.5	mg/l
Ammonia	19.5	mg/l
Nitrate	7	mg/l
Soluble Organic Nitrogen	3.13	mg/l
Phosphate	13	mg/l
Dissolved Oxygen	1	mg/l
Particulate BOD	70.5	mg/l
Particulate inert COD	37.5	mg/l
Volatile solid	98.7	mg/l
Non-volatile solid	42.3	mg/l
Particulate Organic Nitrogen	4.87	mg/l

Tabel 3. 4 Data Input Unit Lumpur Aktif Konvensional

Data Input	Nilai	Satuan
Process Model	ASAL1	-
Volume	339.54	m3
Number of stages	1	-
Number of MLSS recycles	0	-
Volume distribution	1	-
Feed distribution	1	-
Return activated sludge distribution	1	-
Minimum K_{la}	2	-
Minimum K_{la}	10	-
Dissolved oxygen set point	2	mg/l
Soluble BOD	57.5	mg/l
Ammonia	19.5	mg/l
Nitrate	7	mg/l
Soluble phosphat	3.96	mg/l
Dissolved Oxygen	1	mg/l
MLSS	2500	mg/l
Viable autotrophs	100	mg/l
Viable heterotrophs	1000	mg/l
Particulate BOD	70.5	mg/l

Tabel 3. 5 Data Input Unit MUCT

Data Input	Nilai	Satuan
Process Model	ASAL5A	-
Volume	933.75	m3
Number of stages	4	-
Number of MLSS recycles	2	-
Volume distribution	0.250	per stage
Feed distribution	0.500	Stage 1 dan 3
Return activated sludge distribution	0.500	Stage 1 dan 3
Minimum Kla	2	Stage 4
Minimum Kla	10	Stage 4
Dissolved oxygen set point	2	mg/l
Soluble BOD	57.5	mg/l
Ammonia	19.5	mg/l
Nitrate	7	mg/l
Soluble phosphat	3.96	mg/l
Dissolved Oxygen	1	mg/l
MLSS	2500	mg/l
Viable autotrophs	100	mg/l
Viable heterotrophs	1000	mg/l
Particulate BOD	70.5	mg/l

*Tabel 3. 6 Data Input Unit Bak Sedimentasi Kedua
Skenario #1*

Data Input	Nilai	Satuan
Process Model	SSED1	-
Number of vertical layers	8	-
Surface area	61.12	m2
Depth of tank	3	m
Depth of feed	2.5	m
RAS flow	28.3	m3/jam
RAS ratio	1	-
Sludge wastage flow	1.56	m3/jam
Wastage pump run time	24	jam
Wastage pump run time	24	jam
Soluble BOD	57.5	mg/l
Ammonia	19.5	mg/l
Nitrate	7	mg/l
Soluble phosphat	3.96	mg/l

Dissolved Oxygen	1	mg/l
Particulate BOD	70.5	mg/l
MLSS	2500	mg/l
Viable heterotrop	1000	mg/l
Viable autotrop	100	mg/l

Tabel 3. 7 Data Input Unit Bak Sedimentasi Kedua Skenario #2

Data Input	Nilai	Satuan
Process Model	SSED1	-
Number of vertical layers	8	-
Surface area	61.12	m ²
Depth of tank	3	m
Depth of feed	2.5	m
RAS flow	124.47	m ³ /jam
RAS ratio	1	-
Sludge wastage flow	1.56	m ³ /jam
Wastage pump run time	24	jam
Wastage pump run time	24	jam
Soluble BOD	57.5	mg/l
Ammonia	19.5	mg/l
Nitrate	7	mg/l
Soluble phosphat	3.96	mg/l
Dissolved Oxygen	1	mg/l
Particulate sBOD	70.5	mg/l
MLSS	2500	mg/l
Viable heterotrop	1000	mg/l
Viable autotrop	100	mg/l

Tabel 3. 8 Data Input Unit Bak Klorinasi

Data Input	Nilai	Satuan
Volume	42.44	m ³
Cholrine dosage	2	mg/l

3.6 Matriks SWOT

Menurut (Ramadhani, 2018) analisis SWOT (*Strength, Weakness, Opprtunities, Threats*) merupakan suatu bentuk dari analisis situasi dan

kondisi yang bersifat deskriptif (memberi gambaran) dalam membantu perencanaan sarana dan prasarana air limbah di masa yang akan datang. Analisis SWOT ini didasarkan pada interaksi antara unsur internal yaitu kekuatan (*Strength*) dan ancaman (*Threats*), terhadap unsur eksternal yaitu peluang (*Opportunities*) dan kelemahan (*Weakness*).

Dalam melakukan analisis SWOT, akan menggunakan metode semi kuantitatif yang merupakan suatu metode yang digunakan untuk menganalisis suatu dampak berdasarkan bobot dan peringkat dengan menggunakan skala nilai tertentu. Bobot menggambarkan skala kepentingan dengan detail skala yang digunakan yaitu sebagai berikut:

- 1 = tidak mendesak dan tidak penting
- 2 = tidak mendesak dan cukup penting
- 3 = mendesak dan penting
- 4 = sangat mendesak dan sangat penting

Sementara itu, peringkat menggambarkan skala pengaruh kekuatan dari suatu dampak dengan detail skala yang digunakan yaitu sebagai berikut:

- 1 = berpengaruh tidak kuat
- 2 = berpengaruh cukup kuat
- 3 = berpengaruh kuat
- 4 = berpengaruh sangat kuat

Matriks SWOT dapat digunakan untuk menggambarkan dan mengembangkan 4 tipe strategi yaitu SO (*Strengths - Opportunities*), WO (*Weakness - Opportunities*), ST (*Strengths - Threats*), dan WT (*Weakness - Threats*). Tabel 3.9 berikut ini merupakan pemetaan dari matriks SWOT:

Tabel 3. 9 Matriks SWOT

Faktor Internal	<i>Strengths</i> (Kekuatan)	(W) <i>Weakness</i> (Kelemahan)
Faktor Eksternal	Strategi SO: Memanfaatkan seluruh kekuatan untuk meraih peluang	Strategi WO: Mengatasi kelemahan agar dapat diperbaiki dan dicari solusinya untuk meraih peluang
(O) <i>Opportunities</i> (Kesempatan)	Strategi ST: Memanfaatkan kekuatan untuk menghadapi dan mengurangi ancaman	Strategi WT: Meminimalkan kelemahan untuk menghadapi dan menghindari ancaman
(T) <i>Threats</i> (Ancaman)		

Sumber: (Istiqomah & Andriyanto, 2018)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kualitas dan Kuantitas Air Limbah

4.1.1 Karakteristik Air Limbah Domestik

Data karakteristik air limbah domestik yang akan diolah pada penelitian ini didapatkan dari studi literatur yang berasal dari beberapa penelitian terdahulu, yang diharapkan karakteristik air limbah ini dapat menjadi gambaran dari kualitas air limbah baik di Indonesia maupun Asia Tenggara sebagai pendukung untuk mengetahui penyisihan nitrogen dan fosfor pada air limbah. Berikut merupakan data kualitas air limbah yang digunakan pada Tabel 4.1 dalam perencanaan IPAL domestik untuk Wilayah X:

Tabel 4. 1 Kualitas Air Limbah Domestik

Parameter	Influent	Effluent	Satuan
BOD ^a	128	36	mg/L
COD ^b	250	116.8	mg/L
TSS ^c	141	26	mg/L
Ammonia- NH ₃ ^d	19.5	14.34	mg/L
Nitrit ^e	0.31	0.033	mg/L
Nitrat ^f	7	-	mg/L
Total Nitrogen ^g	34.81	20	mg/L
Fosfat ^h	6.2	4.68	mg/L
Total Fosfor ^f	12	-	mg/L

Sumber: ^a (Pitoyo et al., 2017), ^b (Rohendi et al., 2021), ^c (Ikbal, 2016), ^d (Rarasari et al., 2019), ^e (Lumunon et al., 2021), ^f (Sabeen et al., 2018), ^g (Dieu et al., 2016), ^h (Muhsinin, 2019)

4.1.2 Beban Pengolahan

Kualitas limbah akan menunjukkan spesifikasi yang diukur dari jumlah kandungan bahan pencemar di dalam limbah. Kandungan pencemar di dalam limbah terdiri dari beberapa parameter. Tabel 4.2

berikut ini merupakan beban pengolahan air limbah dari perencanaan IPAL:

Tabel 4. 2 Beban Pengolahan Air Limbah

Parameter	Konsentrasi	Debit Air Limbah m ³ /hari	Beban Pengolahan	
	(mg/l)		mg/hari	kg/hari
BOD	128	2037.262	260769.521	260.770
COD	250		509315.471	509.315
TSS	141		287253.926	287.254
Ammonia (NH ₃ -N)	19.5		39726.607	39.727
Nitrit	0.31		631.551	0.632
Nitrat	7		14260.833	14.261
Total Nitrogen	34.81		70917.086	70.917
Fosfat	6.2		12631.024	12.631
Total Fosfor	12		24447.143	24.447
Organik nitrogen	8		16298.095	16.298

Sumber: Hasil Perhitungan (2022)

Contoh Perhitungan

$$\begin{aligned}
 \text{Beban BOD} &= \text{debit} \times \text{konsentrasi} \\
 &= 2037.262 \text{ m}^3/\text{hari} \times 128 \text{ mg/l} \\
 &= 260769.521 \text{ mg/hari} \\
 &= 260.770 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

4.1.3 Proyeksi Penduduk

Pada penelitian ini dilakukan perencanaan unit Instalasi Pengolahan Air Limbah pada Wilayah X. Periode Perencanaan ini dilakukan dalam kurun waktu 10 tahun yang akan datang terhitung dari tahun 2022 hingga tahun 2032. Dalam melakukan perencanaan ini terlebih dahulu dilakukan proyeksi penduduk untuk mengetahui estimasi jumlah penduduk di Wilayah X pada tahun perencanaan yaitu pada tahun 2032. Hal ini berkaitan erat dengan perhitungan debit air limbah yang akan dihasilkan. Tabel 4.3 berikut ini merupakan data jumlah penduduk Wilayah X dari tahun 2010 hingga 2021 beserta pertumbuhan penduduknya:

Tabel 4. 3 Jumlah Penduduk Wilayah X Tahun 2010 - 2021

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%
Jumlah		128224	2447	22.30%
Rerata		10685	222	1.86%
Ka			222	

Sumber: BPS Wilayah X

Proyeksi perkembangan jumlah penduduk dilakukan dengan cara pengujian terhadap data jumlah penduduk terdahulu dengan menggunakan standar deviasi. Dalam menghitung proyeksi penduduk terdapat 3 metode yang digunakan yaitu:

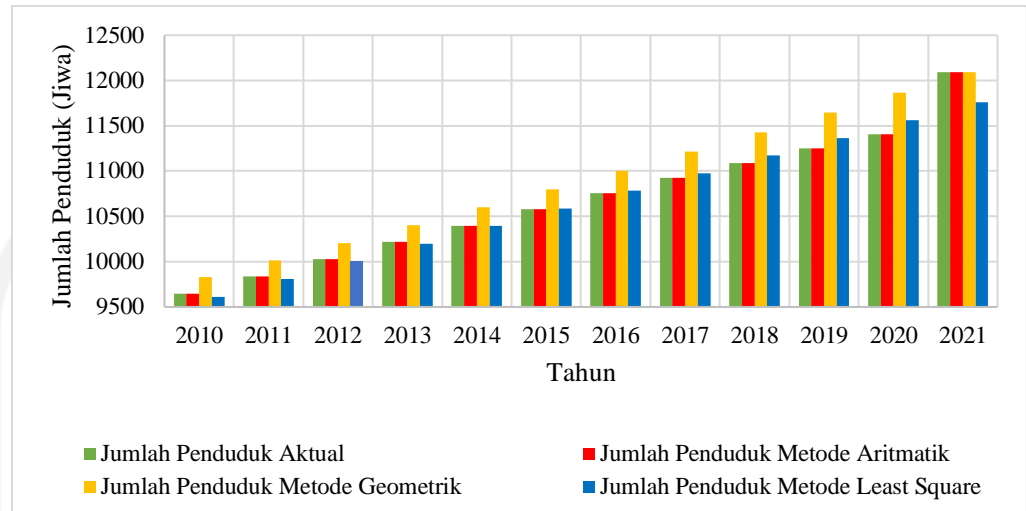
- a. Metode Aritmatik,
- b. Metode Geometrik
- c. Metode *Least Square*.

Nanti dari ketiga metode tersebut, yang menghasilkan standar deviasi terkecil pada proyeksi mundur atau *Backward Projection* digunakan sebagai metode untuk menghitung proyeksi maju atau *Forward Projection*.

4.1.1.1 Proyeksi Hitungan Mundur (*Backward Projection*)

Backward projection merupakan metode yang digunakan untuk memproyeksikan kembali jumlah penduduk ke belakang.

Gambar 4.1 berikut ini merupakan proyeksi penduduk hitungan mundur dari ketiga metode:



Gambar 4. 1 Grafik Pertumbuhan Penduduk Wilayah X Backward Projection

a. Perbandingan Ketiga Metode

Tabel 4. 4 Perbandingan Ketiga Metode

No	Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Metode		
			Aritmatik	Geometrik	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	130422	131097	128224
Standar Deviasi			767.92	710.27	672.26

Sumber: Hasil Perhitungan (2022)

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan 3 metode, metode yang menunjukkan nilai standar deviasi

terkecil yaitu metode *least square*. Maka dari itu, metode *least square* digunakan untuk memproyeksikan jumlah penduduk dalam kurun waktu 10 tahun mendatang.

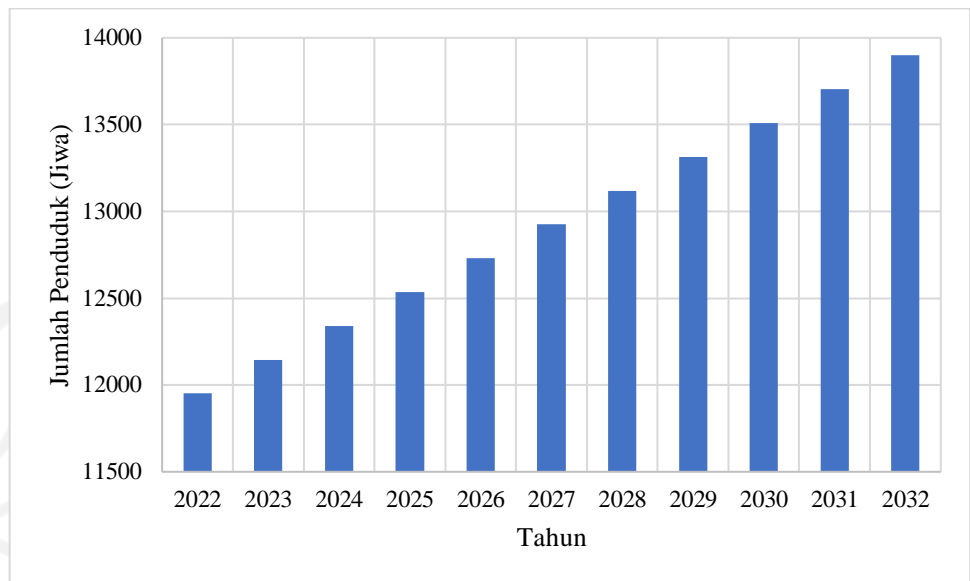
4.1.1.2 Proyeksi Hitungan Maju (*Forward Projection*)

Forward projection merupakan metode yang digunakan untuk memproyeksikan jumlah penduduk ke depan. Berdasarkan hitungan *backward projection* metode yang memiliki standar deviasi paling terkecil adalah metode *least square*. Oleh karena itu, metode *least square* digunakan dalam perhitungan *forward projection*. Tabel 4.5 dan Gambar 4.2 berikut ini merupakan hasil dari perhitungan proyeksi maju penduduk Wilayah X selama 10 tahun kedepan sebagai berikut:

Tabel 4. 5 Proyeksi Penduduk Maju Wilayah X 10 Tahun Kedepan Menggunakan Metode Least Square

No Tahun Ke - Tahun Jumlah Penduduk			
1	12	2021	12092
2	13	2022	11951
3	14	2023	12146
4	15	2024	12341
5	16	2025	12535
6	17	2026	12730
7	18	2027	12925
8	19	2028	13120
9	20	2029	13314
10	21	2030	13509
11	22	2031	13704
12	23	2032	13899

Sumber: Hasil Perhitungan (2022)



Gambar 4. 2 Proyeksi Penduduk Wilayah X 10 Tahun Kedepan

4.1.4 Kebutuhan Air Bersih

Penentuan kebutuhan air bersih akan sangat mempengaruhi perhitungan dari proyeksi air limbah. Kebutuhan air per orang per hari dapat disesuaikan dengan banyaknya jumlah penduduk dalam suatu wilayah perencanaan. Berikut merupakan acuan kebutuhan air bersih yang digunakan pada Tabel 4.6:

Tabel 4. 6 Kebutuhan Air Bersih Berdasarkan Kategori Kota dan Jumlah Penduduk

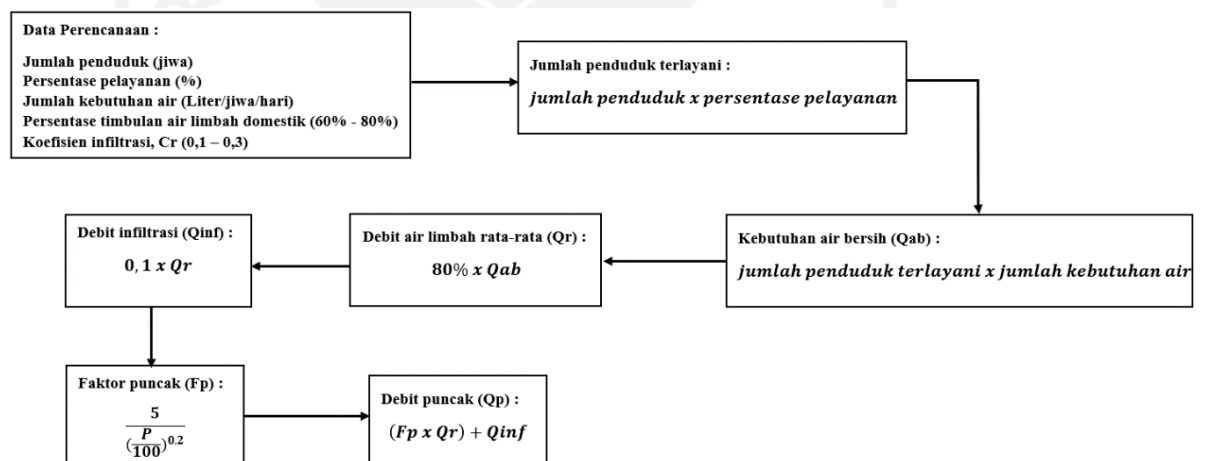
Kategori Wilayah	Jenis Wilayah	Jumlah Penduduk (jiwa)	Kebutuhan Air (Liter/jiwa/hari)
I	Metropolitan	> 1.000.000	> 150
II	Kota Besar	500.000 - 1.000.000	120 - 150
III	Kota Sedang	100.000 - 500.000	90 - 120
IV	Kota Kecil	20.000 - 100.000	80 - 120
V	Desa	< 20.000	60 - 80

Sumber: Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Dina PU, 1996

Berdasarkan tabel 4.6 diketahui bahwa Wilayah X masuk kedalam kategori wilayah V yang mana jumlah penduduknya kurang dari 20.000 jiwa. Maka dari itu kebutuhan air untuk Wilayah X yaitu sebesar 60 Liter/jiwa/hari.

4.1.5 Proyeksi Debit Air Limbah

Perhitungan debit air limbah didasarkan pada Buku A – Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALD-T) yang meliputi perhitungan debit limbah, debit puncak, dan debit infiltrasi. Adapun persentase untuk timbulan air limbah domestik yaitu sebesar 60% - 80% dari kebutuhan air bersihnya, dimana pada perencanaan ini persentase yang digunakan yaitu sebesar 80%. Sementara itu, nilai koefisien infiltrasi (Cr) di Indonesia yaitu berkisar antara 0,1 – 0,3 dimana pada perencanaan ini nilai Cr yang digunakan yaitu sebesar 0,1. Detail perhitungan debit air limbah untuk perencanaan IPAL terdapat pada **Lampiran II**. Gambar 4.3 berikut ini merupakan diagram alir perhitungan debit air dan Tabel 4.7 merupakan debit air limbah yang dihasilkan:



Gambar 4. 3 Diagram Alir Perhitungan Debit Air Limbah

Tabel 4. 7 Debit Air Limbah Wilayah X

No	Tahun	Qr	Qinf	Qpeak
		lt/dtk	lt/dtk	lt/dtk
1	2021	4.702	0.470	15.808
2	2022	4.648	0.465	15.660
3	2023	4.723	0.472	15.865
4	2024	5.485	0.548	17.896
5	2025	5.571	0.557	18.123
6	2026	5.658	0.566	18.350
7	2027	6.462	0.646	20.427
8	2028	6.560	0.656	20.674
9	2029	6.657	0.666	20.921
10	2030	7.505	0.751	23.045
11	2031	7.613	0.761	23.313
12	2032	7.721	0.772	23.579

Sumber: Hasil Perhitungan (2022)

4.2 Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik

4.2.1 Baku Mutu Air Limbah Domestik

Adanya peraturan yang mengatur mengenai air limbah sangat diperlukan agar kualitas dari badan air dapat terus terjaga dan terhindar dari pencemaran. Salah satu peraturan di Indonesia yang mengatur mengenai kualitas air limbah domestik yaitu terdapat pada Lampiran I PerMen LHK Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik yang terangkum dalam tabel 4.8 berikut:

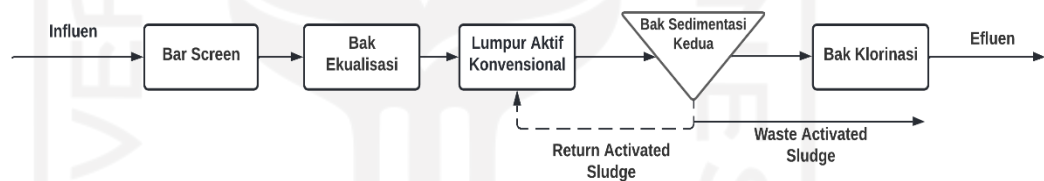
Tabel 4. 8 Baku Mutu Air Limbah Domestik

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6 - 9
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	30
Minyak dan Lemak	mg/L	5
Ammoniak	mg/L	10
Total Coliform	jumlah/100 ml	3000

Sumber: PerMen LHK Nomor 68 Tahun 2016

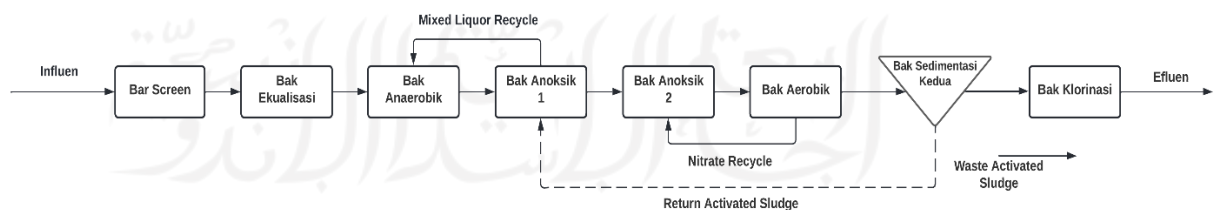
4.2.2 Rancangan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik

Pada perencanaan ini unit yang digunakan yaitu terdiri dari *preliminary treatment*, *secondary treatment*, dan *tertiary treatment*, yang mana pada penelitian ini direncanakan dibuat 2 jenis unit *secondary treatment* yaitu lumpur aktif konvensional dan *Modified University of Cape Town* (MUCT) sebagai perbandingan untuk melihat penyisihan nutrisi terbaik dari nitrogen dan fosfor pada rencana IPAL Domestik. Unit yang digunakan pada perencanaan ini akan mengacu pada Penyusunan Master Plan Pengelolaan Air Limbah Wilayah X. Berikut merupakan diagram alir dari perencanaan IPAL domestik untuk skenario pertama dan kedua yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 dibawah ini:



Gambar 4. 4 Diagram Alir Rancangan IPAL Wilayah X Menggunakan Lumpur Aktif Konvensional

Sumber: Penyusunan Master Plan Pengelolaan Air Limbah Wilayah X



Gambar 4. 5 Diagram Alir Rancangan IPAL Wilayah X Menggunakan Proses MUCT

Sumber: (James E. Huff & Darryl Carstensen, 2015) dan Penyusunan Master Plan Pengelolaan Air Limbah Wilayah X

4.2.3.1 Perhitungan Unit *Preliminary Treatment*

Preliminary treatment merupakan unit pengolahan awal dimana terjadinya pengolahan secara fisik untuk menghilangkan kontaminan yang berukuran besar agar pada unit selanjutnya air limbah dapat diolah dengan maksimal. Pada perencanaan ini, unit *preliminary treatment* yang direncanakan yaitu *bar screen* dan bak ekualisasi. Berikut merupakan detail perhitungannya:

a. *Bar Screen*

Bar screen atau saringan merupakan unit yang berfungsi untuk menyaring sampah dan partikel padat yang berukuran besar yang terbawa oleh aliran air limbah seperti plastik, kayu, botol, kain, dan lain sebagainya. Detail perhitungan unit *bar screen* terdapat pada **Lampiran III.a**. Adapun kriteria desain dari unit *bar screen* yaitu terangkum pada Tabel 4.9 berikut ini:

Tabel 4. 9 Kriteria Desain Unit *Bar Screen*

Parameter	Besar Nilai Kriteria	Kriteria Digunakan
Kecepatan maksimum aliran melalui bar (m/s)	0,3 - 0,6	0.6
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

Berdasarkan dari perhitungan yang dilakukan, didapatkan dimensi *bar screen* dimana lebar yaitu sebesar 1,25 m dengan jumlah bar sebanyak 51 buah. Tipe *bar screen* yang digunakan yaitu *screen* dengan tipe manual *cleaning*. Headloss yang diizinkan yaitu sebesar 0,15 m dan headloss

maksimum yaitu 0,8 m dimana perencanaan ini sudah memenuhi kriteria desain perencanaan tersebut yaitu sebesar 0,329 m. Kecepatan aliran air limbah setelah melewati *bar screen* akan lebih tinggi dibandingkan sebelum melewati *bar screen*, dimana hal ini dikarenakan kecepatan aliran air limbah sebelum *bar screen* dipengaruhi oleh sampah dan padatan yang terbawa oleh air limbah (Nurhayati & Kosmaliati, 2011). Tabel 4.10 berikut ini merupakan hasil dari perhitungan unit *bar screen*:

Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Unit Bar Screen

DATA PERENCANAAN		
Parameter	Nilai	Satuan
Jumlah unit	1	buah
Debit puncak (Qp)	0.024	m ³ /s
V aliran	0.6	m/s
Diamete pipa	0.5	m
Jumlah celah	50	buah
Lebar jarak screen	25	mm
Lebar batang screen	4	mm
Kedalaman air di dalam pipa	0.4	m
Ketinggian dasar pipa (Z1)	0	m
PENYELESAIAN		
Luas penampang bar	0.039	m ²
Lebar area bersih screen	0.098	m
Total area bersih (lebar screen)	1.25	m
Jumlah bar	51	buah
Lebar chamber (Lebar saluran screen)	0.302	m
Koefisien efisiensi	4.22	
Kedalaman air sebelum screen (d2)	0.41	m
Kecepatan aliran sebelum screen (V2)	0.19	m ² /s
V2 melewati bar screen saat bersih	0.585	m ² /s
HL saat bersih	0.02	m
Kedalaman air setelah screen (d3)	0.031	m
Kecepatan aliran setelah screen (V3)	2.517	m ² /s
Kedalaman air saat headloss 50% (d2')	0.36	m
Kecepatan aliran saat headloss 50% (v2')	0.217	m ² /s

HL50% clogging	0.329	m
----------------	-------	---

b. Bak Ekualisasi dan Pompa

Bak ekualisasi merupakan unit yang berfungsi untuk mengatur debit air limbah yang akan diolah serta untuk menyeragamkan konsentrasi dari zat pencemarnya yang ada di dalam air limbah agar homogen dan proses pengolahan air limbah dapat berjalan dengan stabil. Detail perhitungan unit bak ekualisasi dan pompa terdapat pada **Lampiran III.b**. Berikut merupakan kriteria desain dari unit bak ekualisasi yang terangkum pada tabel 4.11:

Tabel 4. 11 Kriteria Desain Unit Bak Ekualisasi

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Kedalaman air minimum	h _{min}	1.5-2	m
Ambang batas	h _{fb}	1	m
Laju Pemompaan udara	Q udara	0.01-0.015	m ³ /m ³ .menit
Kemiringan dasar tangki	S	40-100	mm/m
waktu detensi	t	0.5-2	jam

Sumber: Buku B – SPALDT, 2018 dan Metcalf & Eddy dalam Priyanka, 2012

Berdasarkan dari perhitungan yang dilakukan, didapatkan dimensi unit bak ekualisasi dengan panjang dan lebar yaitu sebesar 4,30 m dengan luas permukaan yaitu sebesar 18,53 m². Direncanakan kedalaman bak yaitu sebesar 1,5 m dengan waktu detensi yaitu selama 1 jam dimana perencanaan ini sudah sesuai dengan kriteria desain yang mengacu pada Buku B – SPALDT, 2018 dan Metcalf & Eddy dalam Priyanka, 2012. Tabel 4.12 dan Tabel 4.13 berikut ini merupakan hasil dari perhitungan unit bak ekualisasi dan pompa:

Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan Unit Bak Ekualisasi

Parameter	Nilai	Satuan
Debit rata-rata (Q)	27.80	m ³ /jam
Waktu tinggal	1	jam
Volume (V)	27.80	m ³
Kedalaman bak rencana	1.5	m
Luas Permukaan (A)	18.53	m ²
Dimensi Bak :		
rasio P:L	1:1	
Panjang	4.30	m
Lebar	4.30	m
Cek volume	27.80	m ³

Tabel 4. 13 Hasil Perhitungan Pompa Bak Ekualisasi

Data Perencanaan Pompa		
Parameter	Nilai	Satuan
Debit Peak (Q _{peak})	0.0236	m ³ /detik
Kecepatan (V)	1	m/detik
Waktu operasi	10	jam
Panjang Pipa	5	m
Perhitungan Pompa Submersible		
Parameter	Nilai	Satuan
Head statis	2	m
A pipa	0.024	m ²
Diameter Pipa	0.10	m
Cek V	1	m/detik
H _f Mayor (kerugian head di sepanjang pipa)		
H _f discharge	1.32	m
H _f Minor (kerugian head akibat katup, belokan, sambungan, sambungan 90 dll)		
n	1	
k	0.25	
H _f (akibat belokan 90)	0.013	m
H _f kecepatan	0.051	m
H sisa tekan	0.5	m
Head total	3.89	m
y	9.8	kN/m ³

η	0.75	kw.kN m/detik
Perhitungan daya pompa	1.197	kw
Spesifikasi pompa	C1463-880	

4.2.3.2 Perhitungan Unit *Secondary Treatment*

a. Lumpur Aktif Konvensional

Lumpur aktif konvensional merupakan salah satu teknologi yang sudah sering digunakan dalam mengolah air limbah. Mekanisme dasar pengolahan lumpur aktif ini yaitu dengan menggunakan mikroorganisme untuk memakan kontaminan organik di dalam air limbah, yang kemudian akan menghasilkan limbah berkualitas tinggi. Proses pengolahan pada lumpur aktif terjadi secara aerobik, aliran yang mengandung mikroorganisme aktif yang dapat menstabilkan bahan organik. Prosesnya terdiri dari aliran air limbah yang masuk ke bak lumpur aktif akan dicampurkan dengan mikroorganisme aktif terutama bakteri dan protozoa yang secara aerobik mendegradasi bahan organik menjadi karbon dioksida, air, sel baru, dan lainnya. Setelah waktu retensi tertentu, aliran akan masuk ke *secondary clarifier* dimana lumpur akan dibiarkan mengendap dan efluen yang diproduksi pada *secondary clarifier* akan dibuang (Bhargava, 2016).



Detail perhitungan unit lumpur aktif konvensional terdapat pada **Lampiran III.c**. Tabel 4.14 merupakan kriteria desain yang digunakan dalam perencanaan unit lumpur aktif konvensional ini yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 14 Kriteria Desain Unit Lumpur Aktif Konvensional

Parameter	Besar Nilai Kriteria	Kriteria Digunakan
Umur sel (hari)	5 - 15	5
MLSS (mg/l)	2500 - 4000	2500
Koefisien Decay (/hari)	0,025 - 0,075	0.025
Koefisien pertumbuhan (kg VSS/mg BOD5)	0,4 - 0,8	0.8

Sumber: (Metcalf & Eddy, 1991)

Dari perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan dimensi dari bak lumpur aktif konvensional dengan panjang dan lebar yaitu sebesar 10,6 m dan luas permukaannya yaitu sebesar 113,18 m². SRT (θ_c) yang digunakan pada perencanaan ini yaitu sebesar 5 hari yang mana sudah sesuai dengan kriteria desain yang mengacu pada Metcalf & Eddy, 1991. Selain itu didapatkan debit RAS sebesar 679,09 m³/hari atau 28,30 m³/jam serta debit WAS sebesar 37,49 m³/hari atau 1,56 m³/jam. Tabel 4.15 berikut ini merupakan hasil dari perhitungan unit bak lumpur aktif konvensional:

Tabel 4. 15 Hasil Perhitungan Unit Bak Lumpur Aktif Konvensional

DATA PERENCANAAN		
Parameter	Nilai	Satuan
Jumlah unit	1	buah
Debit (Q)	0.024	m ³ /s
Debit tiap bak (Q)	0.024	m ³ /s
	2037.262	m ³ /hari
Kedalaman	3	m
Mean Cell Retention Time, θ_c	5	hari
Ks	50	mg BOD/l
Y	0.8	kg VSS/kg BOD ₅
kd	0.025	/hari
MLSS (X)	2500	mg/l
	2.5	kg/m ³
Rasio		
Panjang	1	

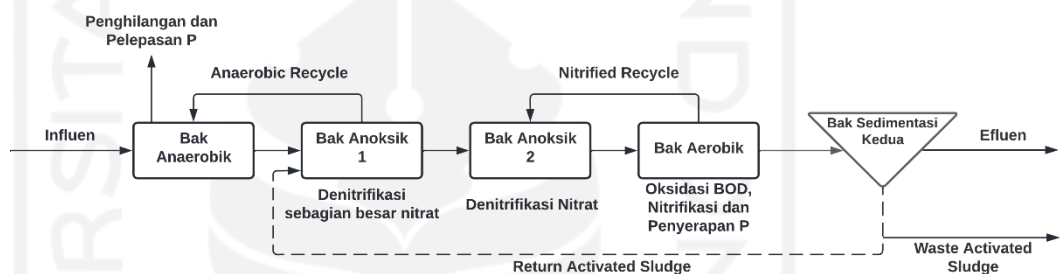
Lebar	1	
BOD soluble influent	57.5	mg/l
BOD efluen	35.533	mg/l
Rasio BOD/BODu (f)	0.7	
Fraksi VSS/TSS (G)	0.85	nilai tipikalnya 0,8 - 0,85
Konsentrasi TSS pada efluen (Xe)	26	mg/l
BOD efluen <i>suspended solid</i>	21.967	mg/l

PENYELESAIAN

Yobs	0.71	VSS/mg BOD
Px	133.96	kg VSS/hari
Total Produksi TSS (Pxss)	167.45	kg TSS/hari
HRT	3.95	jam
HRT digunakan	4	jam
Volume	339.54	m ³
Rasio Panjang : Lebar	1:1	
Panjang = Lebar	10.6	m
Xe	20.8	mg VSS/l
Kehilangan TSS pada effluent	52.97	kg TSS/hari
Kehilangan VSS pada effluent	42.38	kg TSS/hari
TSS in WAS	114.48	kg TSS/hari
VSS in WAS	91.58	kg VSS/hari
TSS ras	10000	mg/l
Q WAS	37.49	m ³ /hari
Q effluent	2025.814	m ³ /hari
Xr (Konsentrasi VSS pada RAS)	8000	VSS/l
Qr (Q ras)	679.09	m ³ /hari
MLVSS (X)	2000	mg TSS/L
Rasio RAS	0.33	
F/M	0.4	mg BOD / mg VSS
Mass organic loading (MOL)	0.28	mg BOD/mg VSS hari
Volumetric organic loading (VOL)	0.55	kg BOD/m ³ hari
Kebutuhan oksigen (O ₂)	86.808	kg O ₂ /hari

b. Modifikasi Lumpur Aktif Menggunakan Proses MUCT

Di Indonesia sendiri, pengolahan air limbah pada IPAL terhadap penyisihan kandungan nitrogen dan fosfor masih sangat jarang dilakukan. Adapun langkah untuk mengurangi kandungan nitrogen dan fosfor dalam air limbah yaitu dengan melakukan modifikasi pada unit IPAL, salah satunya yaitu dengan melakukan modifikasi pada unit lumpur aktif menggunakan proses MUCT yang dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut ini:



Gambar 4. 6 Diagram Alir Proses MUCT

Sumber: (McHarg, 2002)

Pada proses MUCT ini terdapat 4 tahapan pengolahan yaitu bak anaerobik digunakan untuk penghilangan dan pelepasan phosphor, bak anoksik pertama digunakan untuk denitrifikasi sebagian besar nitrat sebelum dikembalikan ke zona anaerobik, bak anoksik kedua digunakan untuk denitrifikasi nitrat dari zona aerobik, dan bak aerobik digunakan untuk oksidasi BOD, nitrifikasi dan penyerapan phosphor.

Detail perhitungan unit MUCT terdapat pada Lampiran III.d. Berikut merupakan kriteria desain perencanaan dari teknologi MUCT yang terangkum pada tabel 4.16:

Tabel 4. 16 Kriteria Desain Unit MUCT

Parameter	Besar Nilai Kriteria	Satuan
F/M	0,1 - 0,2	/hari
SRT	10 - 30	hari
MLSS	2000 - 4000	mg/l
HRT Bak Anaerobik	1 - 2	jam
HRT Bak Anoksik 1	1 - 2	jam
HRT Bak Anoksik 2	2 - 3	jam
HRT Bak Aerobik	4 - 12	jam
HRT total	8 - 18	jam
Return/Recycle Ratio		
R_{mlr}	2 - 4	
R_{ir}	1 - 3	
R_{rs}	0,8 - 1	
RAS Recycle, %Q	100	
Anoksik Recycle, %Q	100 - 200	
Nitrified Recycle, %Q	100 - 200	

Sumber: (McHarg, 2002 dan Qasim, 2018)

Dari perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan dimensi dari teknologi MUCT dengan panjang dan lebar untuk bak anaerobik yaitu sebesar 7,523 m dengan kedalaman 3 m. Kemudian bak anoksik pertama dengan panjang dan lebar 7,523 m dan kedalaman 3 m, sedangkan bak anoksik kedua panjang dan lebar sebesar 9,213 m dan kedalaman 3 m. Selanjutnya yaitu bak aerobik (oksik) dimana panjang dan lebar sebesar 10,639 m dan kedalaman 3 m. Kelebihan dari teknologi MUCT ini dibandingkan pengolahan biologis konvensional ataupun BNR lainnya seperti A/O, A2O, Bardenpho, dan UCT yaitu dimana teknologi ini dirancang untuk mengolah air limbah terhadap penyisihan nitrogen dan fosfor pada konsentrasi yang tinggi (Demir, 2020). Tabel 4.17 berikut ini merupakan hasil dari perhitungan unit MUCT:

Tabel 4. 17 Hasil Perhitungan Unit MUCT

Parameter	Nilai	Satuan
Q	2037.262	M ^s /hari
Vtotal MUCT	933.75	m ³
HRT total	11	jam
SRT	15	hari
HRT anaerobik	2	jam
HRT anoksik 1	2	jam
HRT anoksik 2	3	jam
HRT oksik	4	jam
MLSS	2500	mg/l
	2.5	kg/m ³
Anaerobik Zone Basin		
V anaerobik	169.772	m ³
Luas permukaan bak anaerobik	56.591	m ²
Panjang bak anaerobik	7.523	m
Lebar bak anaerobik	7.523	m
Tinggi bak anaerobik	3	m
IMLR anaerobik:Q (R _{mfr})	4	
IMLR anaerobik	8149.05	m ³ /hari
Anoksik Zone Basin		
V ano1 (RAS) volume	169.772	m ³
Luas permukaan bak anoksik 1	56.591	m ²
Panjang bak anoksik 1	7.523	m
Lebar bak anoksik 1	7.523	m
Tinggi bak anoksik 1	3	m
V ano2 (IMLR) volume	254.658	m ³
Luas permukaan bak anoksik 2	84.886	m ²
Panjang bak anoksik 2	9.213	m
Lebar bak anoksik 2	9.213	m
Tinggi bak anoksik 2	3	m
IMLR nitrate : Q (R _{ir})	3	
IMLR nitrate	6377.23	m ³ /hari
Aerations Basin (Oksik / Aerobic Tank)		
Voksik	339.544	m ³
Luas permukaan bak oksik	113.181	m ²
Panjang bak oksik	10.639	m
Lebar bak oksik	10.639	m
Tinggi bak oksik	3	m

F/M	0.22	mg BOD / mg MLSS / hari
RAS:Q (R _{rs})	1	
Q _{RAS}	2987.30	m ³ /hari
Q _{WAS}	37.474	m ³ /hari

c. Bak *Secondary Clarifier*

Secondary clarifier yang disebut juga dengan bak sedimentasi kedua merupakan unit yang berfungsi untuk mengendapkan, mengurangi, dan atau menghilangkan kandungan polutan di dalam air limbah. Unit ini direncanakan untuk dapat mengendapkan sisa-sisa polutan yang masih terbawa oleh air limbah setelah melewati proses MUCT. Detail perhitungan unit bak sedimentasi kedua terdapat pada **Lampiran III.e**. Tabel 4.18 berikut ini merupakan kriteria desain dari bak sedimentasi kedua:

Tabel 4. 18 Kriteria Desain Unit Bak Sedimentasi Kedua

Parameter	Besar Nilai Kriteria	Sumber
Overflow Rate (OR) (m ³ /m ² hari)	12 - 33	Metcalf & Eddy, 1991
Solid Loading (kg/m ² hari)	15 - 150	Qasim, 1985
Radius (m)	3 - 60	
Kedalaman Bak (m)	3	Lampiran II PerMen PUPR No.04 Tahun 2017
Waktu detensi (jam)	2	

Berdasarkan dari perhitungan yang dilakukan, didapatkan dimensi bak sedimentasi kedua dengan diameter bak yaitu sebesar 8,055 m atau radius bak sebesar 4,028 m yang mana sudah memenuhi kriteria desain yang mengacu pada Qasim, 1985 dimana R bak yaitu sebesar 3 – 60 m. Bentuk bak sedimentasi kedua ini dirancang berbentuk lingkaran agar waktu detensinya lebih singkat dan biaya perawatan yang lebih rendah (McGraw-Hill, 2009).

Sedangkan OR yaitu sebesar 33,33 m³/m² hari yang mana juga sudah memenuhi kriteria desain yang mengacu pada Metcalf & Eddy, 1991. Lumpur dari unit sedimentasi kedua ini akan dialirkan kembali ke bak anoksik pertama untuk menjaga keseimbangan pertumbuhan mikroba di dalam teknologi MUCT, hal ini dikarenakan lumpur yang berasal dari bak sedimentasi kedua ini dianggap sebagai lumpur aktif (L. K. Wang et al., 2005). Tabel 4.19 berikut ini merupakan hasil dari perhitungan unit bak sedimentasi kedua:

Tabel 4. 19 Hasil Perhitungan Bak Sedimentasi Kedua

DATA PERENCANAAN		
Parameter	Nilai	Satuan
Jumlah unit	1	buah
Debit puncak (Qp)	0.024	m ³ /s
	2037.262	m ³ /hari
V lumpur rata-rata (VL)	1370.772	m ³ /hari
Debit WAS	37.474	m ³ /hari
	0.000434	m ³ /s
Rasio resirkulasi	125	
MLSS	2500	mg/l
	2.5	kg/m ³
Kedalaman bak	3	m
Waktu detensi (dt)	2	jam
PENYELESAIAN		
Limiting Solid - Loading Rate (SF)	100	kg/m ² hari
Luas permukaan (A bak)	61.12	m ²
Diameter bak (Dbak)	8.824	m
Overflow Rate (OR)	33.33	m ³ /m ² hari
Volume clarifier	183.354	m ³
Waktu detensi (dt)	2.16	jam

4.2.3.3 Perhitungan Unit *Tertiary Treatment*

a. Bak Klorinasi

Air limbah yang dihasilkan tentu akan mengandung bakteri dan mikroorganisme patogen. Maka dari itu, diperlukan unit *tertiary treatment* yaitu desinfeksi yang bertujuan untuk mengurangi dan membunuh bakteri dan mikroorganisme patogen yang terkandung di dalam air limbah. Klor digunakan sebagai bahan disinfektan dikarenakan harganya yang murah, mudah larut dalam air dan mudah untuk ditemukan. Detail perhitungan unit bak klorinasi terdapat pada **Lampiran III.f**. Berikut ini merupakan kriteria desain dari bak desinfeksi yang terangkum pada Tabel 4.20:

Tabel 4. 20 Kriteria Desain Unit Bak Desinfeksi (Klorinasi)

Parameter	Besar Nilai Kriteria
pH optimum	6 - 7
Dosis desinfeksi (mg/L)	2 - 8
Waktu kontak (menit)	15 - 45
Kadar klor dalam kaporit	70%
Berat jenis kaporit (ρ) (kg/L)	0.8 - 0.88

Sumber: Priyanka, 2012

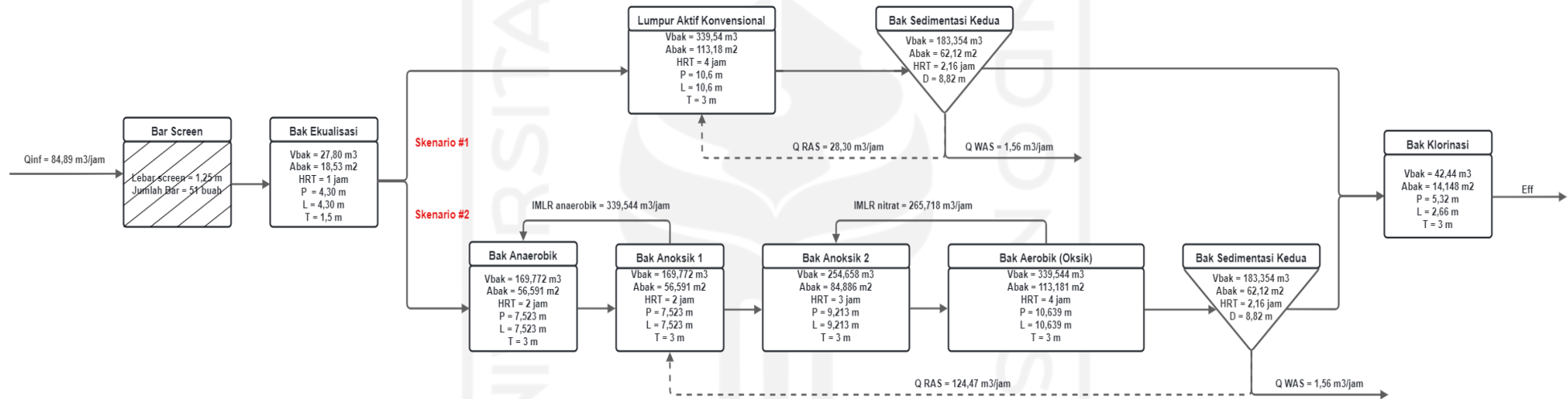
Dari perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan dimensi dari bak desinfeksi (klorinasi) dengan panjang 5,32 m dan lebar 2,66 m serta luas permukaan sebesar 14,148 m² dan volume bak 42,44 m³. Dosis klor yang diberikan yaitu sebanyak 2 mg/L dan waktu kontak saat Qp yaitu 0,42 jam atau 25 menit dimana sudah memenuhi kriteria desain yang mengacu pada Priyanka, 2012. Tabel 2.21 berikut ini merupakan hasil perhitungan dari bak desinfeksi (klorinasi):

Tabel 4. 21 Hasil Perhitungan Unit Bak Desinfeksi (Klorinasi)

DATA PERENCANAAN		
Parameter	Nilai	Satuan
Debit dari sedimentasi	2037.262	m ³ /hari
Dosis klor yang diberikan	2	mg/L
	0.002	kg/m ³
Kadar klor	70%	
Waktu kontak	30	menit
	0.5	jam
Kedalaman total	3	m
Rasio Panjang : Lebar		
Panjang	2	
Lebar	1	
PENYELESAIAN		
Kebutuhan klor	4.075	kg/hari
Kebutuhan kaporit dalam larutan	5.821	kg/hari
Vol bak klorinasi saat Qp	42.44	m ³
Luas permukaan	14.148	m ²
Lebar	2.66	m
Panjang	5.32	m
Tinggi jagaan (free board)	0.5	m
Kedalaman bak	2.5	m
Waktu kontak saat Qp (t)	0.42	jam

4.2.3.4 Hasil Perhitungan Manual

Didapatkan hasil perhitungan manual pada perencanaan IPAL domestik Wilayah X yang dapat dilihat pada gambar 4.7 berikut ini:



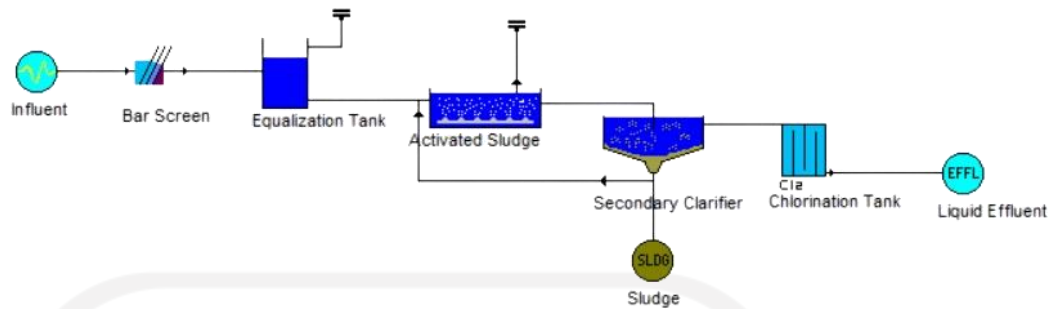
Gambar 4. 7 Hasil Perhitungan Manual Perencanaan IPAL Domestik

4.3 Simulasi Pemodelan Perencanaan IPAL Domestik

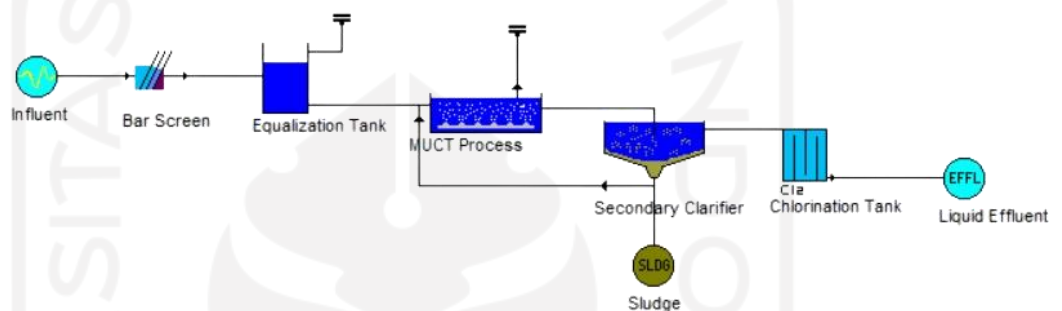
4.3.1 Skenario Pemodelan Perencanaan IPAL Domestik

Lumpur aktif (*activated sludge*) merupakan salah satu dari proses pengolahan air limbah secara biologi yang banyak digunakan di Indonesia. Hal ini dikarenakan kebutuhan lahan yang relatif kecil, penggunaan biaya yang minim, pengoperasionalan teknologi yang mudah serta kualitas air hasil olahan terutama pH dan kandungan oksigen yang lebih bagus (Hartaja & Setiadi, 2016). Akan tetapi tidak jarang pula air hasil olahannya belum dapat memenuhi baku mutu. Parameter yang sering tidak memenuhi baku mutu yaitu ammonia (NH_4^+) (Said & Utomo, 2018). Permasalahan lain yang sering dihadapi pada proses lumpur aktif yaitu terjadinya “*bulking*” pada lumpur dikarenakan bakteri berfilamen lebih banyak dibandingkan dengan bakteri pembentuk flok. Hal ini disebabkan oleh konsentrasi bahan organik, nitrogen dan fosfor yang tinggi sehingga menyebabkan lambatnya proses pengendapan (Rasmito & Badryah, 2018).

Dalam penelitian ini, dilakukan 2 skenario pemodelan dari perencanaan IPAL pada Wilayah X untuk mengetahui penyisihan nutrien terbaik yaitu nitrogen dan fosfor dengan menggunakan *software* STOAT *version* 5.0. Skenario pertama yaitu dimana pemodelan IPAL terdiri dari unit *Bar Screen*, *Equalization Tank*, *Activated Sludge*, *Secondary Clarifier*, dan *Chlorine Tank*. *Secondary treatment* yang digunakan pada skenario pertama ini yaitu proses lumpur aktif konvensional yang mana hanya terdapat proses aerobik. Sedangkan untuk skenario kedua terdapat perbedaan pada *secondary treatment*nya, dimana pada skenario kedua ini *secondary treatment* yang digunakan akan dimodifikasi dengan proses *Modified University of Cape Town* (MUCT) yang mana akan terdiri dari 4 tahapan proses dengan kondisi yang berbeda, yaitu tahapan 1 dengan proses anaerobik, tahapan 2 dan 3 dengan proses anoksik, dan tahapan 4 dengan proses aerobik. Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 berikut ini merupakan layout simulasi pemodelan dari kedua skenario:



Gambar 4. 8 Layout Simulasi Pemodelan Skenario #1 Pada Software STOAT



Gambar 4. 9 Layout Simulasi Pemodelan Skenario #2 Pada Software STOAT

Proses model yang digunakan pada skenario 1 untuk lumpur aktif konvensional menurut (WRc plc, 2013) yaitu ASAL1, dimana model dinamis ini dapat menghilangkan BOD di dalam influen, sementara itu proses lainnya seperti nitrifikasi dan denitrifikasi dalam penghilangan nitrogen dan fosfor tidak diketahui secara jelas dalam prosesnya. Model dinamis ASAL1 ini telah digunakan karena tidak membedakan biomassa yang hidup dan tidak hidup (Rasmito & Badryah, 2018). Sedangkan proses model yang digunakan pada skenario 2 untuk modifikasi lumpur aktif menurut (WRc plc, 2013) yaitu ASAL5A, dimana proses model ASAL5A ini merupakan model lumpur aktif untuk penghilangan nitrogen dan fosfor.

4.3.2 Tahapan Simulasi Pemodelan IPAL Margasari Menggunakan Software STOAT Version 5.0

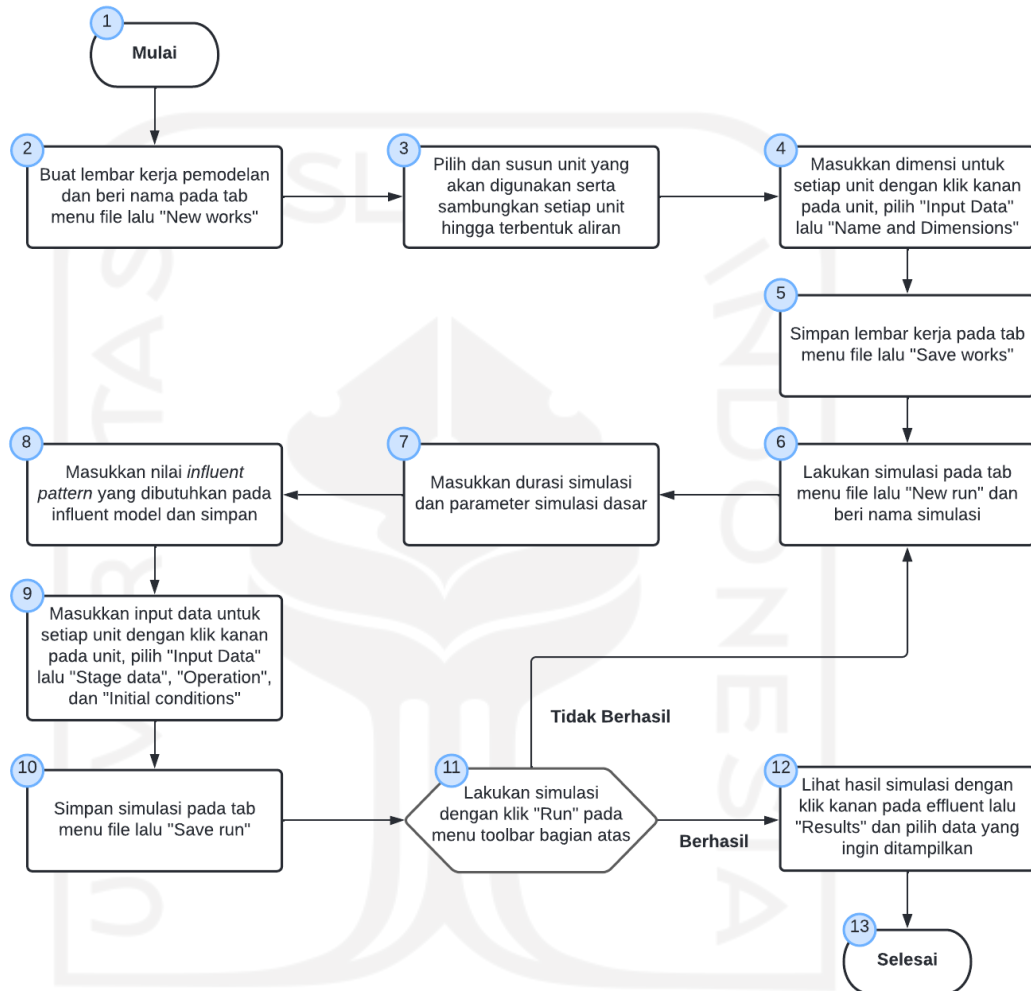
Simulasi model perencanaan IPAL dalam penelitian ini akan dilakukan menggunakan software STOAT version 5.0. Perbedaan dari 2

skenario yang telah dibuat yaitu terdapat pada unit *secondary treatment* yang dapat dilihat pada gambar 4.10 Sebagai berikut:

Gambar 4. 10 Input Data Dimensi Skenario 1 dan Skenario 2

Berdasarkan gambar 4.10, terdapat perbedaan pada *process model*, *number of stages* yang merupakan jumlah tahapan pengolahan, dan *number of MLLS recycle* yang merupakan jumlah resirkulasi yang terjadi. Pada proses MUCT *number of stage* yaitu 4 karena terdapat 4 proses tahapan, yaitu tahapan 1 dengan proses anaerobik dimana tidak terdapat oksigen sama sekali, tahapan 2 dan 3 dengan proses anoksik dimana hanya oksigen dalam bentuk gabungan yang terdapat di dalam air, dan tahapan 4 dengan proses aerobik dimana hanya oksigen bebas dan terlarut yang terdapat di dalam air, dimana pada kondisi ini akan terjadi proses nitrifikasi. Sedangkan *number of MLSS recycles* yaitu 2 karena akan terjadi 2 kali resirkulasi yaitu resirkulasi pertama merupakan *Internal Mixed Liquor Recycle (IMLR)* nitrat dari tahapan 4 ke tahapan 3 dimana akan membawa aliran yang banyak mengandung nitrat dari bak oksik menuju bak anoksik kedua dan resirkulasi kedua yang merupakan *Internal Mixed Liquor Recycle (IMLR)* anaerobik dari tahapan 2 ke tahapan 1 yang akan membawa aliran untuk di denitrifikasi dari bak anoksik pertama menuju bak anaerobik untuk pelepasan fosfor. Berikut

merupakan detail tahapan dari simulasi pemodelan IPAL Margasari menggunakan *software* STOAT *version* 5.0 yang dapat dilihat pada gambar 4.11 dibawah ini:



Gambar 4. 11 Tahapan Simulasi Model Menggunakan Software STOAT Version 5.0

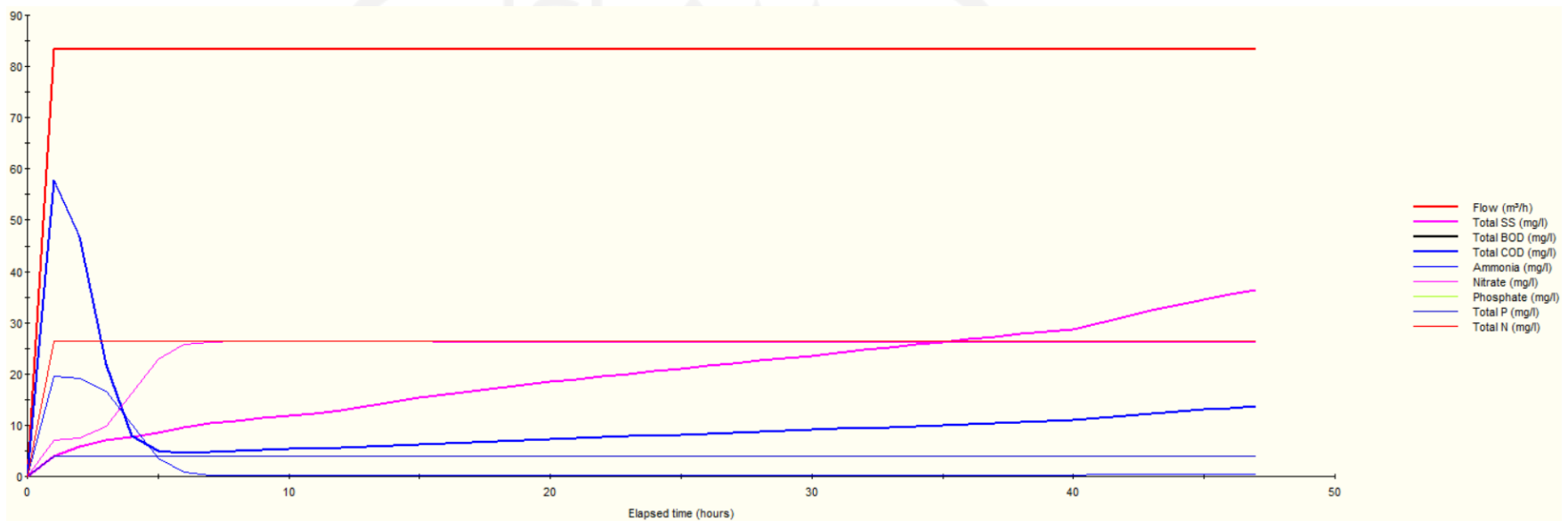
4.3.3 Hasil Performa Perencanaan IPAL Domestik Terhadap Penyisihan Nutrien

Setelah dilakukannya perhitungan unit yang digunakan pada perencanaan IPAL domestik ini, maka selanjutnya data sekunder dan perhitungan tersebut akan digunakan untuk pemodelan dalam penelitian ini agar dapat melihat performa dari kedua skenario perencanaan IPAL. Dalam skenario yang dirancang akan berfokus pada penyisihan nitrogen dan fosfor, akan tetapi dengan tetap memperhatikan parameter air limbah

lainnya seperti BOD, COD, TSS dan amoniak yang juga diharapkan dapat memenuhi batas maksimum dari baku mutu air limbah sesuai dengan PerMen LHK Nomor 68 Tahun 2016. Tidak terdapat perbedaan dari kedua skenario terkait data input, debit, dan kualitas air limbahnya. Maka dari itu, berikut merupakan hasil dari simulasi pemodelan perencanaan IPAL Domestik

4.3.4.1 Skenario #1

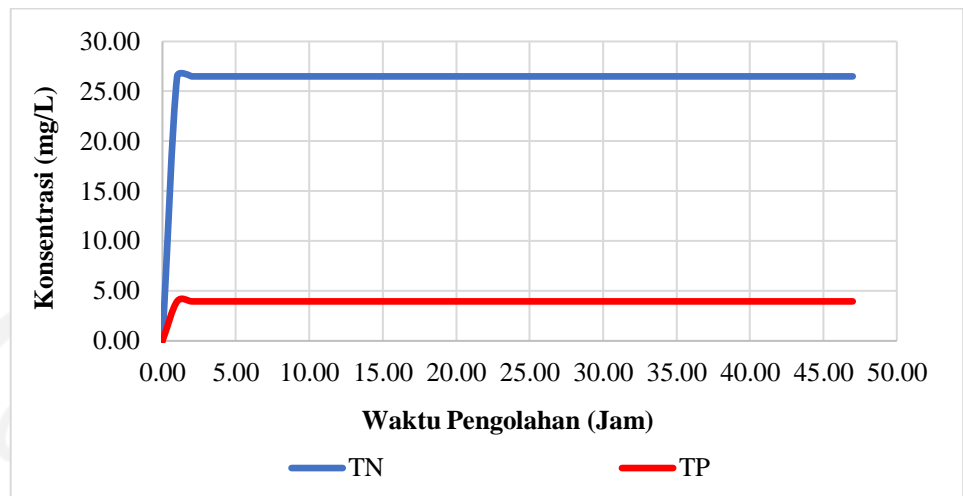
Seperti yang sudah dijabarkan sebelumnya, bahwa pada skenario pertama ini, unit IPAL dirancang menggunakan *Bar Screen*, *Equalization Tank*, *Activated Sludge*, *Secondary Clarifier*, dan *Chlorine Tank*. Berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan, diketahui bahwa kebutuhan lahan dari perencanaan lumpur aktif konvensional ini sebesar 113,18 m². Pada skenario pertama ini, unit IPAL dirancang menggunakan *secondary treatment* berupa pengolahan biologis *suspended growth* yaitu lumpur aktif konvensional. Dalam skenario pertama ini akan dilihat bagaimana kemampuan lumpur aktif konvensional yang telah dirancang dapat menyisihkan kandungan nitrogen dan fosfor pada air limbah. Gambar 4.12 berikut ini merupakan hasil simulasi pemodelan dari skenario 1 yang telah dilakukan:



	Flow (m ³ /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

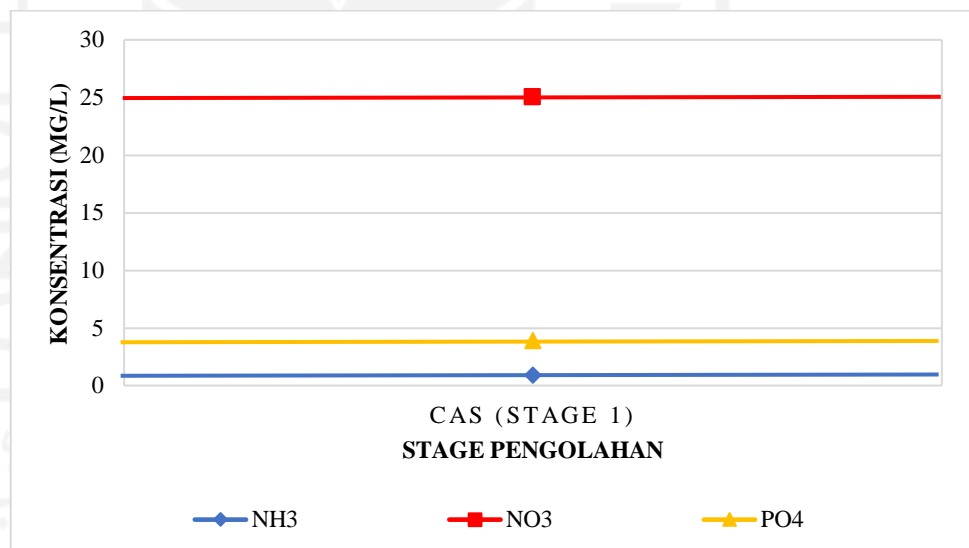
Gambar 4. 12 Hasil Simulasi Pemodelan Perencanaan IPAL Skenario #1 Pada Software STOAT

Dari gambar 4.12 dapat dilihat bahwa terjadi dinamika perubahan konsentrasi air limbah selama 48 jam, dimana untuk detail perubahan konsentrasi yang terjadi pada Skenario #1 terlampir pada **Lampiran IV**. Pada konsentrasi TN, TP dan fosfat telah mencapai kondisi *steady state* pada pengolahan 1 jam pertama hingga 47 jam kemudian. Sementara itu untuk konsentrasi ammonia mengalami perubahan hingga mencapai kondisi *steady state* setelah melewati 7 jam pengolahan, dimana perubahan konsentrasi berikutnya terjadi setiap 2 – 3 jam sekali dengan perubahan sebesar 0,01 mg/l. Parameter nitrat juga turut mengalami perubahan hingga mencapai kondisi *steady state* setelah melewati proses selama 6 jam pertama, dimana kenaikan konsentrasi dari pengolahan di jam pertama yaitu terjadi setiap 2 – 3 jam dengan kenaikan sebesar 0,01 mg/l. Sementara itu untuk parameter TSS mengalami proses pengolahan hingga mencapai kondisi *steady state* setelah melewati 11 jam pertama, dimana setiap jam berikutnya konsentrasi berubah 0,03 mg/l – 0,2 mg/l. Sedangkan parameter BOD dan COD untuk mencapai kondisi *steady state* yaitu setelah melewati pengolahan pada 5 jam pertama, dimana setiap jam berikutnya mengalami perubahan 0,15 mg/l – 0,35 mg/l. Perubahan konsentrasi TN dan TP selama 48 jam pengolahan dapat dilihat lebih detail pada gambar 4.13 berikut ini:



Gambar 4. 13 Perubahan Konsentrasi TN dan TP Skenario #1 Selama 48 Jam

Gambar 4.14 berikut ini merupakan profil konsentrasi TN yang dilihat dari parameter ammonia dan nitrat serta konsentrasi TP yang dilihat dari parameter fosfat pada teknologi CAS:

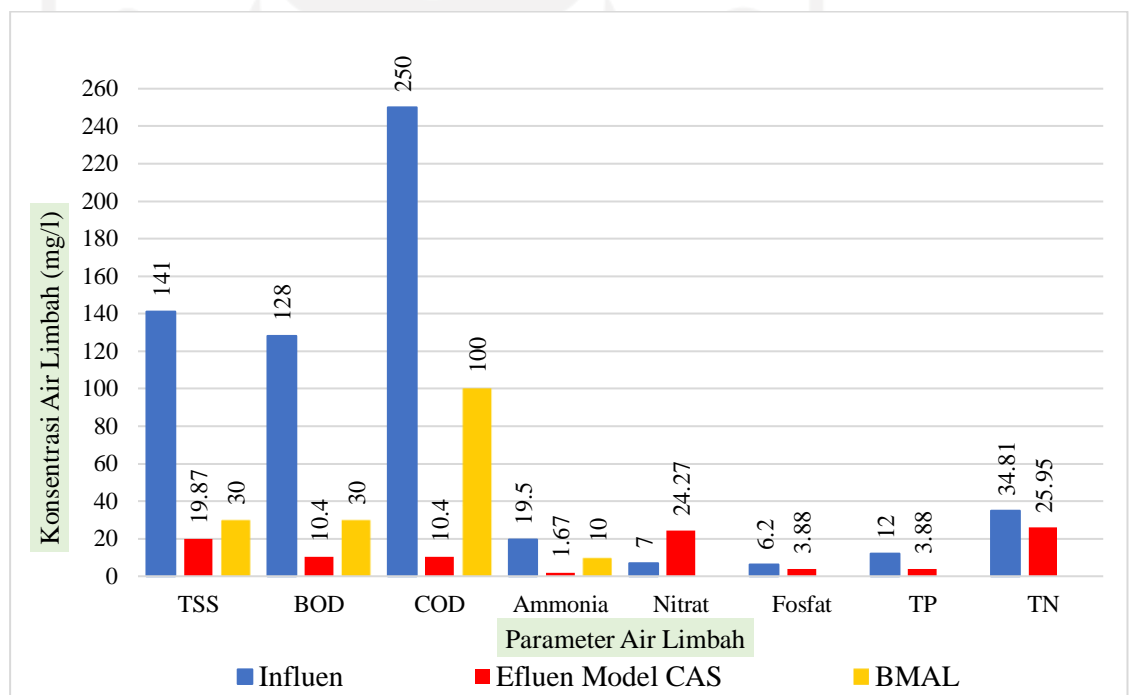


Gambar 4. 14 Profil Konsentrasi TN dan TP Pada Teknologi CAS

Dari gambar 4.14 dapat dilihat bahwa penyisihan konsentrasi TN melalui nitrifikasi terjadi pada bak CAS dimana pengolahan yang terjadi yaitu secara aerobik. Dikarenakan pada teknologi CAS ini pengolahan yang terjadi hanya secara aerobik sehingga konsentrasi nitrat (NO_3) masih tinggi, dimana penyisihan nitrat (NO_3) ini dapat terjadi dengan maksimal pada

kondisi anaerobik melalui denitrifikasi. Sedangkan konsentrasi ammonia (NH_3) yang terdapat pada bak CAS sedikit dikarenakan proses nitrifikasi dapat langsung terjadi sehingga ammonia dapat langsung diolah. Sementara itu penyisihan TP pada teknologi CAS hanya berlangsung sesaat yaitu ketika terjadinya RAS (*Return Activated Sludge*) dari bak sedimentasi kedua menuju bak CAS kembali.

Gambar 4.15 dan Tabel 4.22 berikut ini merupakan detail hasil simulasi yang telah dilakukan pada skenario #1 yang menggunakan *secondary treatment* lumpur aktif konvensional dengan bantuan *software* STOAT version 5.0:



Gambar 4. 15 Grafik Hasil Simulasi Pemodelan Skenario #1

Tabel 4. 22 Hasil Simulasi Pemodelan Skenario #1

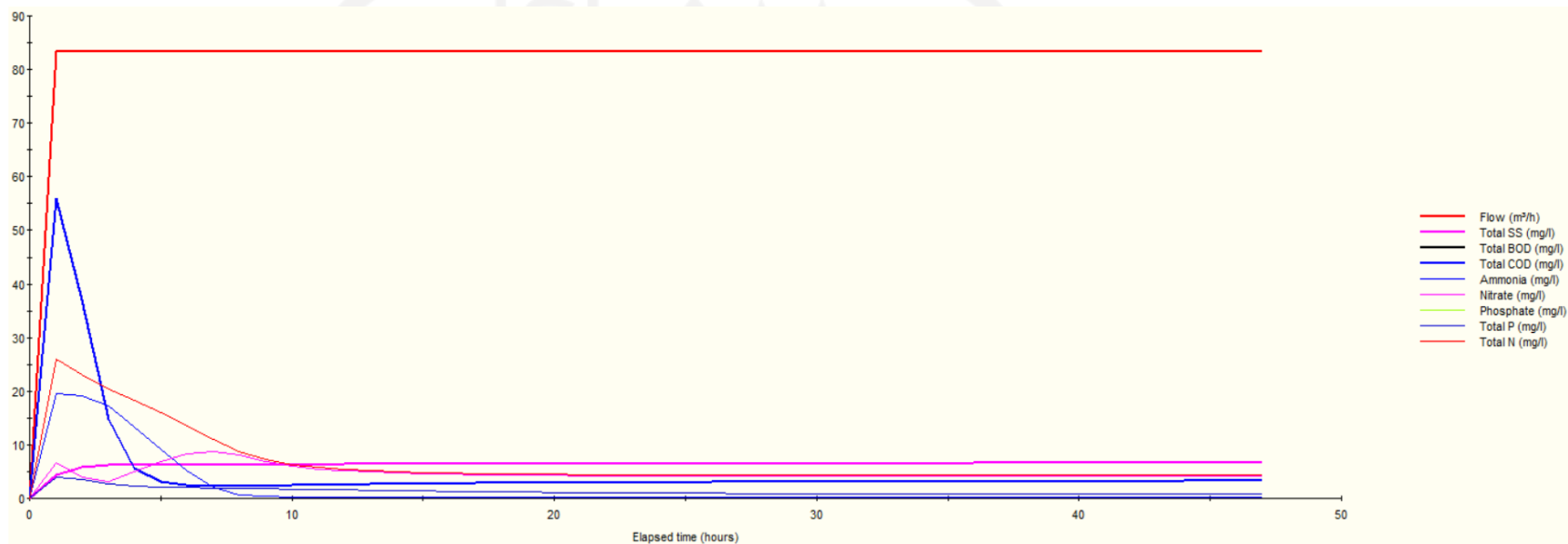
Parameter Air Limbah	Konsentrasi Air Limbah (mg/l)		Baku Mutu Air Limbah (mg/l)	Persentase Penyisihan
	Influen	Model CAS		
TSS	141	19.87	30	86%

Parameter Air Limbah	Konsentrasi Air Limbah (mg/l)		Baku Mutu Air Limbah (mg/l)	Persentase Penyisihan
	Influen	Model CAS		
BOD	128	10.4	30	92%
COD	250	10.4	100	96%
Ammonia	19.5	1.67	10	91%
Nitrat	7	24.27	-	-
Fosfat	6.2	3.88	-	2.02%
TP	12	3.88	-	2.02%
TN	34.81	25.95	-	25%

Berdasarkan Tabel 4.22, diketahui bahwa konsentrasi nutrien yaitu nitrogen dan fosfor pada skenario #1 dimana konsentrasi Total Phosphor (TP) telah mengalami penurunan dari 12 mg/l pada influen menjadi 3,88 mg/l pada efluen model dengan persentase penyisihan sebesar 2,02%. Selanjutnya yaitu konsentrasi Total Nitrogen (TN) juga telah mengalami penurunan dari 34,81 mg/l pada influen menjadi 25,95 mg/l pada efluen model dengan persentase penyisihan sebesar 25%. Selain itu, konsentrasi TSS, BOD, COD dan ammonia juga turut mengalami penurunan yang semula pada influen memiliki konsentrasi sebesar 141 mg/l, 128 mg/l, 250 mg/l, dan 19,5 mg/l menjadi 19,87 mg/l; 10,4 mg/l; 10,4 mg/l; dan 1,67 mg/l pada efluen model dimana konsentrasi dari 4 parameter ini sudah memenuhi standar baku mutu air limbah sesuai dengan PerMen LHK Nomor 68 Tahun 2016. Persentase penyisihan untuk parameter TSS, BOD, COD, dan ammonia secara berurutan yaitu sebesar 86%, 92%, 96%, dan 91%. Untuk parameter fosfat mengalami penurunan dari konsentrasi pada influen sebesar 6,2 mg/l menjadi 3,88 mg/l dengan persentase penyisihan sebesar 2,02%. Sementara itu untuk parameter Nitrat mengalami kenaikan dari 7 mg/l pada influen menjadi 24,27 mg/l pada efluen model.

4.3.4.2 Skenario #2

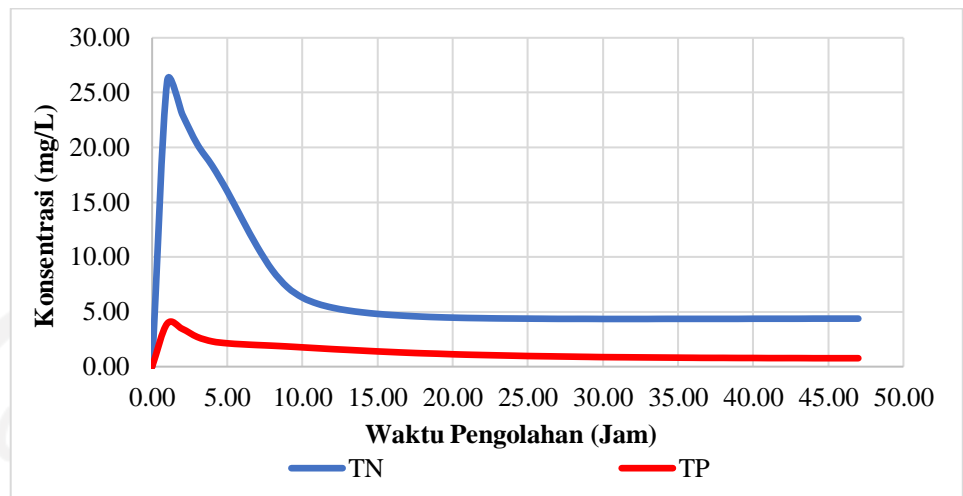
Seperti yang sudah dijabarkan sebelumnya, terdapat perbedaan dari skenario kedua ini yaitu unit *secondary treatment* yang digunakan pada skenario pertama yaitu lumpur aktif konvensional akan diganti menjadi MUCT yang terdiri dari 4 bak pengolahan dimana 1 buah bak dengan proses pada kondisi anaerobik, 2 buah bak dengan proses pada kondisi anoksik, dan 1 buah bak dengan proses pada kondisi aerobik. Berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan, diketahui bahwa kebutuhan lahan dari perencanaan unit MUCT ini sebesar 1.217,83 m². Sama seperti skenario pertama bahwa yang akan dilihat yaitu bagaimana kemampuan dari unit MUCT yang telah dirancang dapat menyisihkan kandungan nitrogen dan fosfor pada air limbah. Gambar 4.16 berikut ini merupakan hasil dari simulasi model yang telah dilakukan untuk skenario 2:



	Flow (m ³ /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	81.59s	6.26	5.00	5.00	1.95	4.66	1.27	1.27	6.61
Minimum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maximum	83.33	6.64	55.93	55.93	19.47	8.79	3.92	3.92	26.03
Standard deviation	12.03	0.99	9.13	9.13	4.95	1.39	0.72	0.72	5.34
Total mass (kg)		25.040	19.991	19.991	7.810	18.630	5.092	5.092	26.440
Peak load (g/s)		0.154	1.295	1.295	0.451	0.203	0.091	0.091	0.603

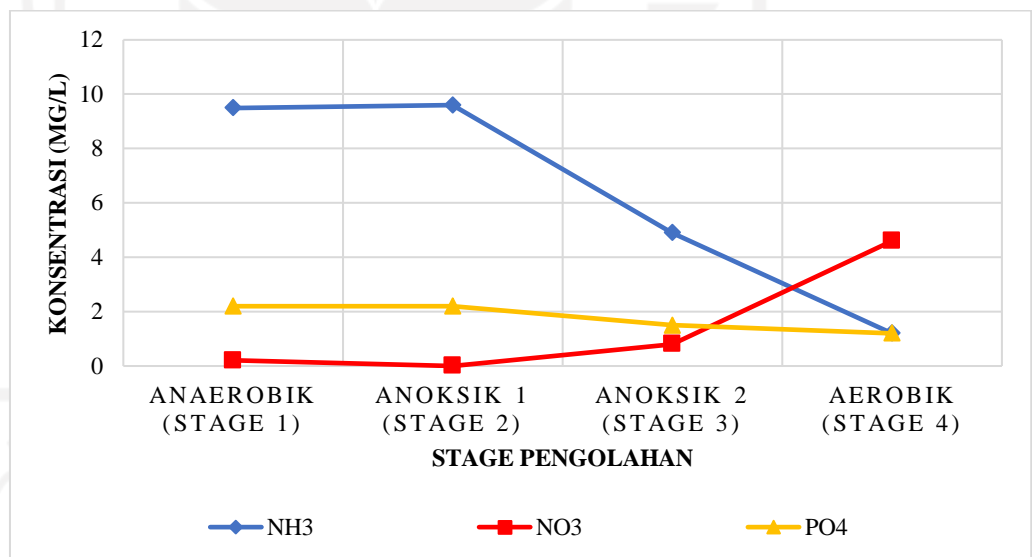
Gambar 4. 16 Hasil Simulasi Pemodelan Perencanaan IPAL Skenario #2 Pada Software STOAT

Dari gambar 4.16 dapat dilihat bahwa terjadi dinamika perubahan konsentrasi air limbah selama 48 jam, dimana detail perubahan konsentrasi yang terjadi pada Skenario #2 terlampir pada **Lampiran IV**. Pada konsentrasi TN mengalami penurunan konsentrasi yang signifikan selama 12 jam pertama dimana tiap jamnya mengalami penurunan konsentrasi 1 mg/l – 3 mg/l, kemudian 12 jam berikutnya juga turut mengalami penurunan dimana tiap jamnya mengalami penurunan konsentrasi 0,02 mg/l – 0,4 mg/l. Penurunan konsentrasi selanjutnya terjadi dalam 4 jam sekali dengan penurunan konsentrasi setiap 4 jamnya yaitu 0,01 mg/l hingga mencapai kondisi *steady state*. Sedangkan untuk parameter TP dan fosfat terjadi penurunan yang cukup signifikan pada 5 jam pertama yang mana tiap jamnya mengalami penurunan konsentrasi sebesar 0,15 mg/l – 0,5 mg/l, kemudian 31 jam berikutnya tetap mengalami penurunan konsentrasi tetapi hanya sedikit yaitu sebesar 0,01 mg/l – 0,07 mg/l dalam setiap jamnya. Kemudian penurunan konsentrasi terjadi setiap 2 - 4 jam sekali dimana penurunan yang terjadi yaitu 0,02 mg/l – 0,01 mg/l hingga mencapai kondisi *steady state*. Sementara itu untuk konsentrasi ammonia dan nitrat juga mengalami penurunan dimana parameter ammonia mencapai kondisi *steady state* setelah melewati 14 jam pengolahan dan untuk parameter nitrat yaitu 26 jam. Sementara itu untuk parameter TSS mengalami proses pengolahan hingga mencapai kondisi *steady state* setelah melewati 5 jam pertama, dimana setiap jam berikutnya konsentrasi berubah 0,01 mg/l – 0,02 mg/l. Sedangkan parameter BOD dan COD untuk mencapai kondisi *steady state* yaitu setelah melewati pengolahan pada 10 jam pertama, dimana setiap jam berikutnya mengalami perubahan 0,01 mg/l – 0,04 mg/l. Perubahan konsentrasi TN dan TP selama 48 jam pengolahan dapat dilihat lebih detail pada gambar 4.17 berikut ini:



Gambar 4. 17 Perubahan Konsentrasi TN dan TP Skenario #2 Selama 48 Jam

Gambar 4.18 berikut ini merupakan profil konsentrasi TN yang dilihat dari parameter ammonia dan nitrat serta konsentrasi TP yang dilihat dari parameter fosfat pada teknologi MUCT:

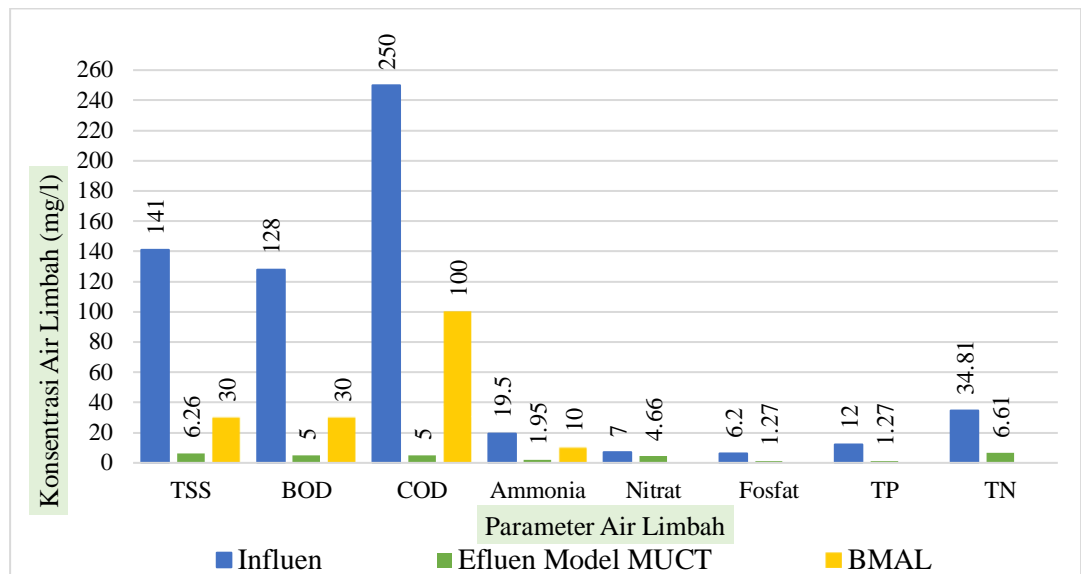


Gambar 4. 18 Profil Konsentrasi TN dan TP Pada Teknologi MUCT

Dari gambar 4.18 dapat dilihat bahwa penyisihan konsentrasi TN yaitu melalui nitrifikasi yang terjadi pada bak aerobik, hal ini dapat dilihat bahwa pada bak aerobik, konsentrasi ammonia rendah yang artinya ammonia (NH_3) telah ternitrifikasi menjadi nitrit (NO_2) dan nitrat (NO_3) dengan bantuan bakteri nitrosomonas dan nitrobacter. Sedangkan denitrifikasi terjadi

pada bak anoksik 1 dan 2 dimana nitrat (NO_3) pada bak anoksik 1 dan 2 ini dilepaskan ke udaran menjadi gas nitrogen (N_2) dengan bantuan bakteri pseudomonas yang mampu menguraikan nitrat (NO_3) dan nitrit (NO_2). Sedangkan penyisihan konsentrasi TP terjadi pada bak anaerobik dimana PAOs (Polyphosphate Accumulating Organism) akan mengkonsumsi polifosfat dan melepaskan fosfor dalam bentuk ortofosfat, kemudian penyisihan TP akan berlangsung pada bak aerobik dimana PAOs akan mengkonsumsi ortofosfat dan menyimpan senyawa fosfor dalam dirinya sebagai polifosfat dan dengan bantuan energi yang dihasilkan akan digunakan untuk menyerap senyawa organik (BOD) yang terdapat pada air limbah. Fosfor yang disimpan dalam mikroorganisme akan dihilangkan bersamaan dengan air limbah ketika masuk ke bak sedimentasi kedua dan terbuang melalui lumpur atau WAS (Waste Activated Sludge).

Gambar 4.19 dan Tabel 4.23 berikut ini merupakan detail hasil simulasi yang telah dilakukan pada skenario #2 yang menggunakan *secondary treatment* MUCT dengan bantuan *software* STOAT version 5.0:



Gambar 4. 19 Grafik Hasil Simulasi Pemodelan Skenario #2

Tabel 4. 23 Hasil Simulasi Pemodelan Skenario #2

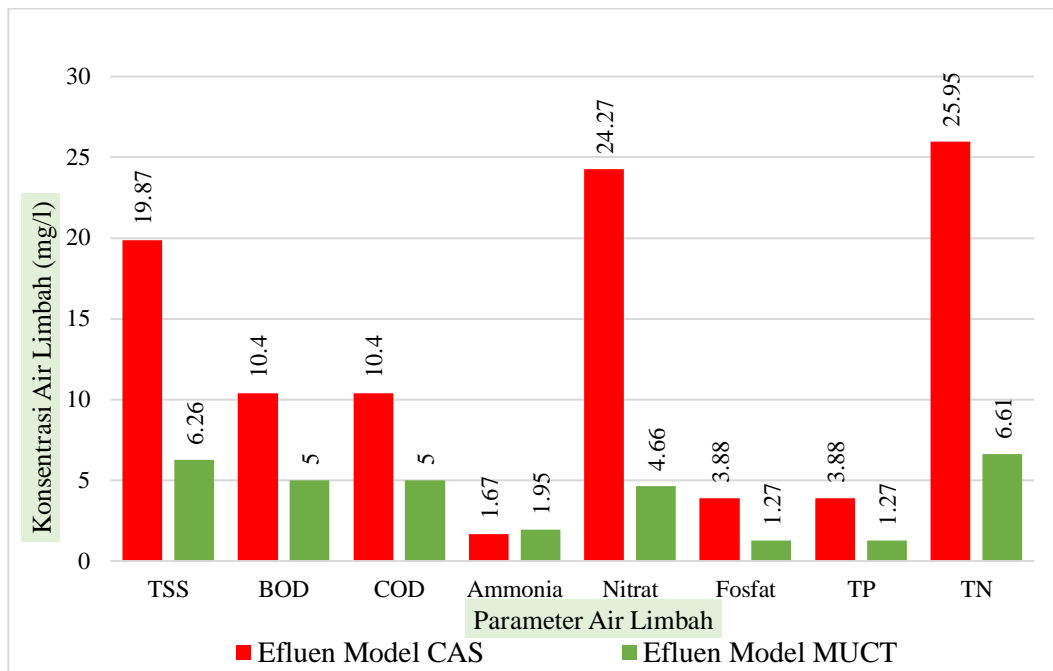
Parameter Air Limbah	Konsentrasi Air Limbah (mg/l)		Baku Mutu Air Limbah (mg/l)	Persentase Penyisihan
	Influen	Model MUCT		
TSS	141	6.26	30	96%
BOD	128	5	30	96%
COD	250	5	100	98%
Ammonia	19.5	1.95	10	90%
Nitrat	7	4.66	-	33%
Fosfat	6.2	1.27	-	68%
TP	12	1.27	-	68%
TN	34.81	6.61	-	81%

Berdasarkan Tabel 4.23, diketahui bahwa konsentrasi nutrien yaitu nitrogen dan fosfor pada skenario #2 dimana konsentrasi Total Phosphor (TP) telah mengalami penurunan dari 12 mg/l pada influen menjadi 1,27 mg/l pada efluen model dengan persentase penyisihan sebesar 68%. Selanjutnya yaitu konsentrasi Total Nitrogen (TN) juga telah mengalami penurunan dari 34,81 mg/l pada influen menjadi 6,61 mg/l pada efluen model dengan persentase penyisihan sebesar 81%. Selain itu,

konsentrasi TSS, BOD, COD dan ammonia juga turut mengalami penurunan yang semula pada influen memiliki konsentrasi sebesar 141 mg/l, 128 mg/l, 250 mg/l, dan 19,5 mg/l menjadi 6,26 mg/l; 5 mg/l; 5 mg/l; dan 1,95 mg/l pada efluen model dimana konsentrasi dari 4 parameter ini sudah memenuhi standar baku mutu air limbah sesuai dengan PerMen LHK Nomor 68 Tahun 2016. Persentase penyisihan untuk parameter TSS, BOD, COD, dan ammonia secara berurut yaitu sebesar 96%, 96%, 98%, dan 90%. Untuk parameter nitrat dan fosfat juga turut mengalami penurunan dari konsentrasi pada influen sebesar 7 mg/l dan 6,2 mg/l menjadi 4,66 mg/l dan 1,27 mg/l dengan persentase penyisihan sebesar 33% untuk nitrat dan 68% untuk fosfat.

4.4 Perbandingan Performa Hasil Simulasi Pemodelan Perencanaan Unit IPAL

Berdasarkan simulasi pemodelan perencanaan IPAL untuk Wilayah X yang telah dilakukan, Gambar 4.20 dan Tabel 4.24 berikut ini merupakan perbandingan hasil simulasi skenario pertama dan skenario kedua:



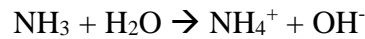
Gambar 4. 20 Grafik Perbandingan Hasil Simulasi Pemodelan Skenario #1 dan Skenario #2

Tabel 4. 24 Perbandingan Hasil Simulasi Pemodelan Skenario #1 dan Skenario #2

Parameter Air Limbah	Konsentrasi Air Limbah (mg/l)			Persentase Penyisihan	
	Influen	Model CAS	Model MUCT	CAS	MUCT
TSS	141	19.87	6.26	86%	96%
BOD	128	10.4	5	92%	96%
COD	250	10.4	5	96%	98%
Ammonia	19.5	1.67	1.95	91%	90%
Nitrat	7	24.27	4.66		33%
Fosfat	13	3.88	1.27	2.02%	68%
TP	12	3.88	1.27	2.02%	68%
TN	34.81	25.95	6.61	25%	81%

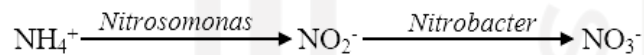
Untuk melihat performa perencanaan IPAL terhadap penyisihan nutrisi terbaik dari nitrogen dan fosfor pada air limbah untuk Skenario #1 dan Skenario #2, maka parameter yang akan dibandingkan yaitu TN dan TP. Penyisihan konsentrasi nitrogen dan fosfor pada air limbah dapat dilakukan

melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Ammonia berada di dalam air sebagai ammonium (NH_4) berdasarkan reaksi kesetimbangan sebagai berikut:



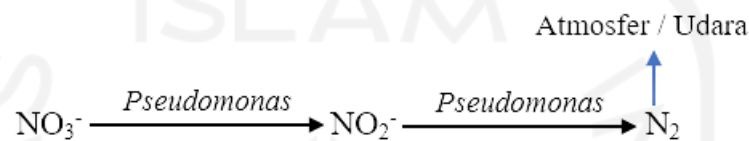
Pada Skenario #1 dengan menggunakan *secondary treatment*nya yaitu lumpur aktif konvensional, konsentrasi TN mengalami penurunan menjadi 25,95 mg/l. Penurunan konsentrasi TN berbanding lurus dengan penurunan ammonia, yang mana pada Skenario #1 terjadi penurunan konsentrasi ammonia (NH_3) menjadi 1,67 mg/l dengan persentase penyisihan sebesar 91%. Akan tetapi, konsentrasi nitrat mengalami kenaikan yang semula 7 mg/l pada influen menjadi 24,27 mg/l pada efluen model. Hal ini dikarenakan lumpur aktif konvensional ini mengolah air limbah secara aerobik yang mana pada kondisi ini akan terjadi proses nitrifikasi.

Nitrifikasi merupakan proses konversi ammonia (NH_3) atau nitrogen ammonium (NH_4) menjadi nitrit (NO_2) yang kemudian menjadi nitrat (NO_3) dengan mekanisme penguraian sebagai berikut (Said & Sya'bani, 2014):

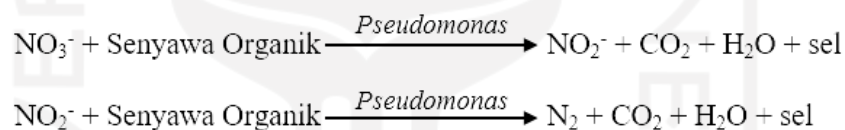


Berdasarkan persamaan diatas, kandungan ammonia (NH_3) di dalam air limbah dioksidasi dengan bantuan bakteri nitrosomonas menjadi nitrit (NO_2). Bakteri nitrosomonas merupakan bakteri autotrof yang akan memakan ammonia dengan aktivitas biologisnya dan mengeluarkan zat kimia berupa nitrit. Hal inilah yang menyebabkan kandungan ammonia di dalam air limbah mengalami penurunan pada Skenario #1. Selanjutnya kandungan nitrit (NO_2) akan dioksidasi dengan bantuan bakteri nitrobacter menjadi nitrat (NO_3). Sementara itu, untuk mengurangi kandungan nitrat (NO_3) dapat dilakukan pada kondisi anaerobik, akan tetapi lumpur aktif konvensional hanya mengalami fase aerobik. Hal inilah yang menyebabkan kandungan nitrat pada Skenario #1 mengalami kenaikan yang cukup tinggi dikarenakan pengolahan berhenti pada fase aerobik.

Pada kondisi anaerobik (anoksik) ini akan terjadi proses denitrifikasi. Produk akhir yang dihasilkan dari proses penguraian ini yaitu gas nitrogen (N₂) dimana jenis gas ini dapat menguap ke udara. Denitrifikasi merupakan proses dimana senyawa nitrat (NO₃) akan diubah menjadi nitrit (NO₂) yang kemudian akan dilepaskan ke udara menjadi gas nitrogen (N₂). Berikut merupakan mekanisme proses penguraiannya:



Pada proses denitrifikasi akan dibantu dengan bakteri pseudomonas yang merupakan bakteri heterotrof, dimana bakteri ini mampu menguraikan nitrat (NO₃) dan nitrit (NO₂). Berikut merupakan reaksi penguraian nitrat (NO₃) dan nitrit (NO₂) pada proses denitrifikasi (Said & Sya'bani, 2014):



Meskipun pengolahan pada bak lumpur aktif konvensional hanya terjadi pengolahan secara aerobik, akan tetapi penurunan pada TN tetap terjadi meskipun hanya sedikit. Hal ini dapat terjadi dikarenakan air limbah yang keluar dari bak lumpur aktif konvensional masuk ke dalam bak sedimentasi kedua, dimana pada bak sedimentasi kedua ini terjadi perubahan kondisi dari aerobik menjadi anoksik dikarenakan terjadinya penurunan kadar DO sehingga terjadinya proses denitrifikasi dan nitrifikasi bak lumpur aktif konvensional untuk penyisihan ammonia (NH₃).

Proses penyisihan TP memanfaatkan PAOs (Polyphosphate Accumulating Organism) yang membutuhkan zona anaerobik dan aerobik. Pada zona anaerobik, polifosfat akan digunakan oleh PAOs untuk dikonsumsi dan melepaskan fosfor dalam bentuk ortofosfat. Pada zona aerobik, PAOs akan mengkonsumsi ortofosfat dan menyimpan senyawa fosfor dalam dirinya

sebagai polifosfat dan dengan bantuan energi yang dihasilkan akan digunakan untuk menyerap senyawa organik (BOD) yang terdapat pada air limbah. Fosfor yang disimpan dalam mikroorganisme akan dihilangkan bersamaan dengan air limbah ketika masuk ke bak sedimentasi kedua dan terbuang melalui lumpur atau WAS (Waste Activated Sludge) (James E. Huff & Darryl Carstensen, 2015). Sehingga penyisihan TP pada Skenario #2 lebih baik dibandingkan Skenario #1 dikarenakan melewati 2 fase pengolahan yaitu anaerobik dan aerobik. Sementara itu penyisihan konsentrasi TP pada Skenario #1 hanya berlangsung sesaat yaitu ketika terjadinya RAS (Return Activated Sludge) dari bak sedimentasi kedua menuju bak lumpur aktif kembali.

Pada Skenario #2 yang menggunakan unit MUCT dimana terdapat 4 tahapan pengolahan yaitu 1 buah bak anaerobik, 2 buah bak anoksik dan 1 buah bak aerobik, konsentrasi TN dan TP juga ikut mengalami penurunan menjadi 6,61 mg/l dan 1,27 mg/l dengan persentase penyisihan sebesar 81% dan 68%. Jika dibandingkan dengan Skenario #1, penyisihan TN dan TP lebih tinggi, hal ini dikarenakan pada unit MUCT ini terjadi proses nitrifikasi pada bak aerobik (oksik) dan denitrifikasi pada bak anoksik pertama dan anoksik kedua guna menyisihkan konsentrasi dari parameter TN. Konsentrasi ammonia juga mengalami penurunan menjadi 1,95 mg/l dengan persentase penyisihan sebesar 90%. Jika dibandingkan dengan Skenario #1, penurunanan konsentrasi ammonia pada Skenario #2 tidak sebanyak skenario #1 meskipun dengan perbedaan yang tidak terlalu signifikan. Hal ini dikarenakan pada unit MUCT ini tidak langsung mengolah ammonia (NH_3), dimana oksidasi ammonia (NH_3) ini terjadi melalui proses nitrifikasi yang terjadi pada bak aerobik (oksik). Sementara itu, unit MUCT ini akan melewati 1 buah bak anaerobik dan 2 buah bak anoksik dimana pada 3 buah bak yang dilewati terlebih dahulu ini tidak terdapat oksigen sehingga tidak terjadi proses nitrifikasi untuk mengoksidasi ammonia (NH_3). Maka dari itu, penurunan konsentrasi ammonia (NH_3) pada Skenario #2 tidak sebaik Skenario #1 dimana proses pengolahan terjadi secara aerobik yang mana ammonia (NH_3) dapat diolah langsung sehingga konsentrasi yang diturunkan lebih maksimal.

Pada Skenario #2, penurunan konsentrasi nitrat (NO_3) lebih baik dibandingkan Skenario #1. Hal ini dikarenakan pada unit MUCT terdapat proses *Internal Mixed Liquor Recycle* (IMLR) nitrat yang akan membawa aliran yang banyak mengandung nitrat (NO_3) dari bak aerobik (oksik) kembali menuju bak anoksik kedua untuk dilakukan denitrifikasi nitrat (NO_3) (James E. Huff & Darryl Carstensen, 2015). Kemudian terdapat juga proses *Internal Mixed Liquor Recycle* (IMLR) anaerobik yang akan membawa aliran untuk di denitrifikasi dari bak anoksik pertama menuju bak anaerobik (James E. Huff & Darryl Carstensen, 2015). Hal inilah yang menyebabkan konsentrasi nitrat (NO_3) pada Skenario #2 lebih baik dikarenakan nitrat (NO_3) yang terkandung pada air limbah telah terdenitrifikasi.

Kebutuhan suplai oksigen pada bak CAS yaitu sebesar 86,808 kg O_2 /hari sedangkan untuk bak MUCT yaitu sebesar 258,036 kg O_2 /hari sehingga diketahui bahwa bak MUCT mengkonsumsi energi yang lebih besar dibandingkan bak CAS, hal ini juga dapat dilihat bahwa pada bak MUCT proses nitrifikasi yang terjadi lebih baik daripada bak CAS. Jika membandingkan dari nilai *SND efficiency (Simultaneous Nitrification-Denitrification)* (%) yang merupakan besaran nilai efisiensi dari aktivitas bakteri untuk menyisihkan senyawa nitrogen dari air limbah melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi, dimana %SND untuk bak CAS sebesar 36,55% dan bak MUCT sebesar 78,30%, sehingga nilai %SND bak MUCT lebih baik daripada bak CAS. Hal ini juga dapat dilihat dari nilai penyisihan removal TN pada bak MUCT yang memiliki nilai lebih baik yaitu sebesar 81% dimana bak CAS hanya sebesar 25%.

4.5 Analisis SWOT Perencanaan IPAL Menggunakan Unit Lumpur Aktif Konvensional dan MUCT

SWOT (*Strength, Weakness, Opportunities, Threats*) merupakan suatu bentuk dari analisis situasi dan kondisi yang bersifat deskriptif (memberi gambaran) dalam membantu perencanaan sarana dan prasarana air limbah di masa yang akan datang (Ramadhani, 2018). Analisis SWOT ini didasarkan pada logika dengan memaksimalkan kekuatan (*Strength*) dan peluang

(*Opportunities*), namun juga dapat meminimalkan kelemahan (*Weakness*) dan ancaman (*Threats*). Dalam melakukan analisis SWOT, akan menggunakan metode semi kuantitatif yang merupakan suatu metode yang digunakan untuk menganalisis suatu dampak berdasarkan bobot dan peringkat dengan menggunakan skala nilai tertentu. Bobot menggambarkan skala kepentingan dengan detail skala yang digunakan yaitu sebagai berikut:

- 1 = tidak mendesak dan tidak penting
- 2 = tidak mendesak dan cukup penting
- 3 = mendesak dan penting
- 4 = sangat mendesak dan sangat penting

Sementara itu, peringkat menggambarkan skala pengaruh kekuatan dari suatu dampak dengan detail skala yang digunakan yaitu sebagai berikut:

- 1 = berpengaruh tidak kuat
- 2 = berpengaruh cukup kuat
- 3 = berpengaruh kuat
- 4 = berpengaruh sangat kuat

Analisis SWOT terlebih dahulu dilakukan pengkajian terhadap faktor internal yang terdiri dari *strength* (kekuatan) dan *weakness* (kelemahan) serta faktor eksternal yang terdiri dari *opportunities* (peluang) dan *threats* (ancaman) sehingga didapatkan konsep strategi penerapan teknologi IPAL domestik berdasarkan informasi dan data yang diperoleh dari data sekunder.

4.5.1 Analisis Faktor Internal dan Eksternal Teknologi CAS

Berikut merupakan faktor internal dan eksternal yang dapat diidentifikasi berdasarkan data yang diperoleh dari (SESRIC, 2011) dan (www.engineeringarticles.org, 2015):

a. Faktor Internal

1. Mampu menyisihkan parameter pencemar air limbah (BOD, COD, TSS)
2. Area yang dibutuhkan lebih kecil
3. Mudah untuk diterapkan

4. Pengoperasioannya yang higienis, aman dan nyaman dikarenakan hanya ada sangat sedikit bau dan hama yang terlibat
5. Biaya investasi rendah
6. Pengolahaannya jarang memenuhi penyisihan ammonia (NH_4)

b. Faktor Eksternal

1. Biaya operasional yang relatif tinggi
2. Konsumsi energi yang tinggi
3. Diperlukannya pemantauan rutin terhadap beban hidrolis berlebih dan memastikan lumpur tetap aktif
4. Terjadinya *bulking sludge*
5. Produksi lumpur yang tinggi

4.5.2 Analisis Faktor Internal dan Eksternal Teknologi MUCT

Berikut merupakan faktor internal dan eksternal yang dapat diidentifikasi melalui penelitian yang dilakukan oleh (Stantec, 2008), (Chan Pacheco, 2018), dan (ID Lilley, 1997):

a. Faktor Internal

1. Merupakan teknologi yang handal dalam mengolah air limbah
2. Melindungi bak anaerobik dari daur ulang nitrat
3. Mengurangi jejak IPAL (dapat mencapai 50% - 80%) dibandingkan dengan teknologi CAS
4. Menghasilkan limbah berkualitas sangat tinggi dengan kadar nitrogen dan fosfor yang rendah
5. Meningkatkan kinerja dari bak desinfeksi
6. Produksi lumpur yang lebih sedikit dibandingkan dengan teknologi BNR konvensional
7. Peningkatan energi pemompaan dan persyaratan pemeliharaan

b. Faktor Eksternal

1. Pengolahan yang lebih kompleks, lebih banyak *internal recycle*
2. Operator harus memahami dan terbiasa dengan konsep dan pengoperasian BNR

3. Hanya setengah dari padatan RAS yang mengalami kondisi anaerobik selama terjadinya *recycle*
4. Biaya energi yang lebih tinggi dengan sistem tekanan tinggi (khususnya konfigurasi tahap terpisah)
5. Potensi terjadinya pengotoran membran, penyumbatan, dan pembentukan kerak
6. Biaya penggantian membran bisa sangat tinggi
7. Umumnya modal dan biaya O&M lebih tinggi daripada teknologi konvensional
8. Perlunya kontrol yang rutin untuk memastikan bahwa padatan cukup dikembalikan ke zona anaerobik untuk mempertahankan desain fraksi massa anaerobik

4.5.3 Detail Analisis SWOT Dari Kedua Teknologi

Setelah dilakukannya identifikasi terhadap faktor internal dan eksternal, kemudian akan diberikan nilai bobot dan peringkat untuk menentukan strategi penerapan teknologi IPAL domestik yang akan diterapkan. Analisis faktor internal dan eksternal yang lebih rinci dapat dilihat pada Tabel 4.25 dan Tabel 4.26 berikut ini yang merupakan hasil analisis SWOT yang dilakukan untuk perencanaan IPAL Skenario #1 dengan menggunakan unit *secondary treatment* Lumpur Aktif Konvensional dan Skenario #2 dengan menggunakan unit MUCT:

Tabel 4. 25 Matriks Analisis SWOT Skenario #1

No.	Faktor Internal	Bobot	Peringkat	Skor
A. Strength (Kekuatan)				
1	Mampu menyisahkan senyawa organik dan padatan tersuspensi	4	3	12
2	Tidak membutuhkan lahan yang besar	4	3	12
3	Biaya investasi yang rendah	2	2	4
Sub Total Strength (Kekuatan)				28
B. Weakness (Kelemahan)				
1	Tidak mampu menyisahkan nutrien dengan baik	4	4	16
2	Produksi lumpur yang banyak	3	3	9

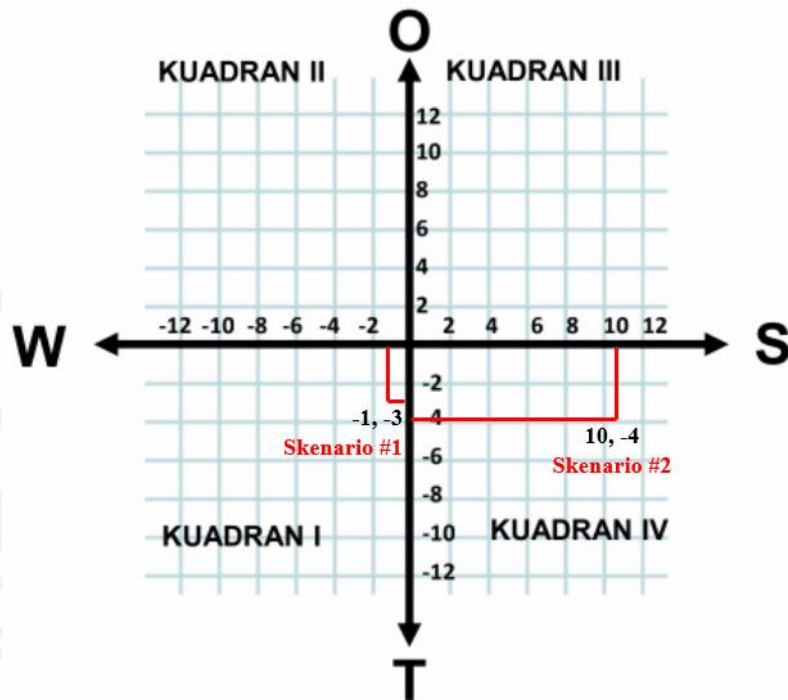
No.	Faktor Internal	Bobot	Peringkat	Skor
3	Biaya operasional yang tinggi	2	2	4
Sub Total Weakness (Kelemahan)				29
Selish Strength - Weakness (S-W)				-1
No.	Faktor Eksternal	Bobot	Peringkat	Skor
C. Opportunities (Peluang)				
1	Perbaikan kondisi sanitasi masyarakat	4	3	12
2	Biaya penggunaan IPAL yang relatif murah	3	3	9
3	Pengolahan air limbah lebih cepat	2	2	4
Sub Total Opportunities (Peluang)				25
D. Threats (Ancaman)				
1	Penurunan kualitas perairan akibat eutrofikasi	4	3	12
2	Tidak adanya baku mutu untuk konsentrasi nutrisi	4	3	12
3	Diperlukannya pemantauan secara rutin berkala	2	2	4
Sub Total Threats (Ancaman)				28
Selish Opportunities - Threats (O-T)				-3

Tabel 4. 26 Matriks Analisis SWOT Skenario #2

No.	Faktor Internal	Bobot	Peringkat	Skor
A. Strength (Kekuatan)				
1	Mampu menyisihkan senyawa organik dan padatan tersuspensi	4	3	12
2	Mampu menyisihkan kandungan nutrisi dengan baik	4	4	16
3	Biaya operasional yang rendah	2	2	4
Sub Total Strength (Kekuatan)				32
B. Weakness (Kelemahan)				
1	Kebutuhan lahan yang cukup besar	4	3	12
2	Konsumsi energi yang besar	3	2	6
3	Biaya investasi yang tinggi	2	2	4
Sub Total Weakness (Kelemahan)				22
Selish Strength - Weakness (S-W)				10
No.	Faktor Eksternal	Bobot	Peringkat	Skor
C. Opportunities (Peluang)				
1	Peningkatan kualitas badan air penerima	3	3	9
2	Perbaikan kondisi sanitasi masyarakat	3	2	6
3	Peningkatan pengolahan air limbah	3	3	9

Sub Total Opportunities (Peluang)				24
D.	Threats (Ancaman)			
1	Operator harus memahami konsep pengolahan	4	3	12
2	Tidak adanya baku mutu untuk konsentrasi nutrisi	4	3	12
3	Diperlukannya pemantauan secara rutin berkala	2	2	4
Sub Total Threats (Ancaman)				28
Selisih Opportunities - Threats (O-T)				-4

Selisih Strength - Weakness (S-W) akan menggambarkan koordinat X pada grafik sedangkan selisih Opportunities - Threats (O-T) akan menggambarkan koordinat Y pada grafik. Berdasarkan Tabel 4.18 didapatkan hasil analisis SWOT untuk Skenario #1 dimana selisih Strength - Weakness (S-W) yang bernilai -1 dan selisih Opportunities - Threats (O-T) yang bernilai -3. Sehingga didapatkan nilai (X, Y) untuk skenario #1 yaitu (-1, -3). Sedangkan hasil analisis SWOT untuk Skenario #A2 ditampilkan oleh Tabel 4.19 dimana selisih Strength - Weakness (S-W) yang bernilai 10 dan selisih Opportunities - Threats (O-T) yang bernilai -4. Sehingga didapatkan nilai (X, Y) untuk skenario #2 yaitu (10, -4). Gambar 4.21 merupakan grafik kuadran analisis SWOT dari kedua skenario yaitu sebagai berikut:



Gambar 4. 21 Grafik Kuadran Analisis SWOT Skenario #1 dan Skenario #2

Sumber: (Pedoman RISPAL, 2016)

Dari gambar 4.21 diketahui bahwa hasil analisis SWOT Skenario #1 berada di kuadran I yang artinya Skenario #1 yang menggunakan Lumpur Aktif Konvensional merupakan teknologi yang tidak dapat bekerja dengan baik dalam menyisihkan nutrien yaitu nitrogen dan fosfor dikarenakan memiliki kelemahan dan ancaman yang cukup besar di masa yang akan datang. Sedangkan hasil analisis SWOT Skenario #2 berada di kuadran IV yang artinya Skenario #2 yang menggunakan unit MUCT merupakan teknologi maju yang dapat dikembangkan dalam menyisihkan nitrogen dan fosfor. Tantangan utama yang akan dihadapi dalam perencanaan unit MUCT ini yaitu kebutuhan tenaga ahli yang terlatih dan profesional sehingga dapat memahami konsep dari pengolahan teknologi MUCT, serta kebutuhan lahan dan konsumsi energi yang besar.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Dari perhitungan manual yang dilakukan dalam perencanaan IPAL domestik menggunakan teknologi Lumpur Aktif Konvensional dan MUCT akan didapatkan data pendukung yang akan digunakan untuk melakukan simulasi pemodelan IPAL menggunakan *software* STOAT *version* 5.0 yaitu berupa dimensi dari setiap unit, HRT, debit RAS (*Return Activated Sludge*), debit WAS (*Waste Activated Sludge*), dan debit resirkulasi.
2. Simulasi pemodelan IPAL terhadap penyisihan nutrisi yaitu nitrogen dan fosfor dalam penelitian ini dilakukan menggunakan *software* STOAT *version* 5.0. Tahapan yang dilakukan yaitu dengan menyiapkan lembar kerja pemodelan kemudian memilih dan menyusun unit IPAL yang dirancang serta melakukan input data dimensi dari setiap unit. Kemudian melakukan *running* simulasi model dan melakukan input data influen yang dibutuhkan serta data pendukung lainnya pada *stage data*, *operation*, dan *initial condition*. Simpan simulasi dan lakukan *running* model. Jika terjadi error, ulangi *running* model dan cek data input yang dimasukkan. Hasil dari *running* simulasi model ini yaitu berupa grafik dan tabel hasil pengolahan.
3. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan terhadap penyisihan nutrisi yaitu nitrogen (TN) dan fosfor (TP), didapatkan persentase penyisihan untuk skenario 1 yang menggunakan Lumpur Aktif Konvensional sebesar 25% untuk parameter TN dan 2,02% untuk parameter TP. Sedangkan persentase penyisihan nutrisi TN dan TP pada skenario 2 yang menggunakan unit MUCT yaitu sebesar 81% untuk parameter TN dan 68% untuk parameter TP. Sehingga unit MUCT memiliki kemampuan

yang lebih baik dalam menyisihkan nutrien yaitu nitrogen dan fosfor dalam air limbah dibandingkan Lumpur Aktif Konvensional.

4. Dari analisis SWOT yang dilakukan untuk kedua teknologi, teknologi IPAL yang lebih baik untuk diterapkan yaitu dengan menggunakan unit MUCT. Hal ini dikarenakan unit MUCT berada di kuadran IV yang artinya unit MUCT merupakan teknologi maju yang dapat dikembangkan dalam menyisihkan nitrogen dan fosfor. Tantangan utama yang akan dihadapi dalam perencanaan unit MUCT ini yaitu kebutuhan tenaga ahli yang terlatih dan profesional sehingga dapat memahami konsep dari pengolahan teknologi MUCT, serta kebutuhan lahan dan konsumsi energi yang besar.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan kalibrasi dan validasi data sebelum dilakukannya simulasi pemodelan menggunakan *software* STOAT agar hasil yang didapatkan lebih baik dengan tingkat akurasi tinggi.
2. Diperlukannya perencanaan lebih lanjut terkait DED tiap unit IPAL dan BOQ-RAB sehingga dapat juga menjadi pertimbangan dalam merencanakan unit IPAL yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhargava, D. A. (2016). Activated Sludge Treatment Process - Concept and System Design. *International Journal of Engineering Development and Research*, 4(2), 890–896. <http://water.worldbank.org/shw-resource-guide/infrastructure/menu-technical-options/activated-sludge>
- Budianti, T. (2017). Studi Penggunaan Lumpur Aktif dan Karbon Aktif Dalam Pengolahan Air Limbah. *Jurnal Kimia*, 1(1), 1–5.
- Cardona, R. (2018). *Wastewater Math Formula*.
- Chan Pacheco, C. R. (2018). Integrating Enhanced Biological Phosphorus Removal (EBPR) In A Resource Recovery Scenario. In *Universitat Autònoma de Barcelona (UAB)* (Nomor September). <http://www.tdx.cat/handle/10803/666850>
- Curtin, K., Duerre, S., Fitzpatrick, B., & Meyer, P. (2011). Biological Nutrient Removal. In *Minnesota Pollution Control Agency* (Vol. 4). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53199-5.00094-4>
- Demir, S. (2020). Comparison of Performances of Biological Nutrient Removal Systems for Municipal Wastewater Treatment. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 38(3), 1235–1248.
- Dewi, R. K. (2014). *Rancangan Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Dengan Proses Biologis Biological Nutrient Removal*.
- Dieu, T. T. M., Mai, H. N. P., & K., S. T. (2016). Domestic Wastewater Treatment by Activated Sludge Technology: Efficiency, Energy Consumption and Waste Generation The case of Binh Hung Wastewater Treatment Plant, Ho Chi Minh City, Vietnam. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 3(6), 375–381. www.ijiset.com
- Dwiyono. (2018). Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik System Lumpur Aktif Di Gedung Trans Mart. *Jurnal TechLINK*, 2(2), 1–12.

- Gao, Y. N., Liu, X. Z., Zhang, R. X., Shan, J. J., Sun, M. Q., Zong, Z. X., & Li, C. W. (2016). Operation and Management of Liaoning Wastewater Treatment Plants by STOAT Simulation. *MATEC Web of Conferences*, 04019, 1–4.
- Hartaja, D. R., & Setiadi, I. (2016). Perencanaan Desain Instalasi Pengolahan Limbah Industri Nata De Coco Dengan Proses Lumpur Aktif. *Perencanaan... JRL*, 9(2), 97–112.
- Hassan, H. H., & Mostafa, M. E. (2019). *Improving the Performance of SBR WWTP under the Effect of Organic Shock Load using Stoa Software*. 20(2), 68–74. <https://doi.org/10.19080/IJESNR.2019.20.556035>
- Henze, M., Loosdrecht, M. C. M., Ekama, G. A., & Brdjanovic, D. (2008). Biological Wastewater Treatment Principles, Modelling and Design. In *IWA Publishing*.
- Hidayat, M. S., Putra, A., & Diana, S. (2018). Penggunaan Senyawa Fosfor Pada Konstruksi Wetland Dalam Pengolahan Limbah Menggunakan Akar Wangi (*Chrysopogon Zizanioides*). *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 2(1), 110–115.
- Ibrahim, B. (2007). *Studi Penyisihan Nitrogen Air Limbah Agroindustri Hasil Perikanan Secara Biologis Dengan Model Dinamik Activated Sludge Model (ASM) 1*.
- ID Lilley, P. P. and S. P. (1997). Operating Manual for Biological Nutrient Removal Wastewater Treatment Works. *Water Research Commission Report No. TT 83/97*, 1(1), 1–50.
- Ikkal. (2016). Peningkatan Kinerja IPAL Lumpur Aktif dengan Penambahan Unit Biofilter (Studi Kasus IPAL Pasaraya Blok M, Kapasitas 420 m³/hari). *Jurnal Air Indonesia*, 9(1), 1–14.
- Iordache, S., Dunea, D., & Ianache, C. (2014). Optimizing Nutrients Removal from Municipal Wastewater Treatment Plants Using Computer Simulation. *Revista de Chimie*, 65(2), 242–248.

- Istiqomah, I., & Andriyanto, I. (2018). Analisis SWOT Dalam Pengembangan Bisnis (Studi pada Sentra Jenang di Desa Kaliputu Kudus). *BISNIS: Jurnal Bisnis dan Manajemen Islam*, 5(2), 363–382. <https://doi.org/10.21043/bisnis.v5i2.3019>
- James E. Huff, P. E., & Darryl Carstensen, P. E. (2015). *Phosphorus Removal Feasibility Report For The Barrington Wastewater Treatment Facility*.
- Judd S. (2006). *The MBR book: principles and applications of membrane bioreactors in water and wastewater treatment*. Elsevier, Amsterdam.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2018). Modul Teknologi Waste to Energy Berbasis Proses Biologis Anaerobic Digester. *Modul Teknologi*, 1–101.
- 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), 3317–3328. <https://doi.org/10.1007/s13762-015-0760-y>
- Linden, K. G., Hawkin, J. M., & Bonislawsk, M. P. (2001). *Evaluation of Performance and Operational Costs for Three Biological Nutrient Removal Schemes At a Full-Scale Wastewater Treatment Plant*.
- Lumunon, E., Riogilang, H., & Supit, C. (2021). Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah Komunal Kiniar Di Kota Tondano. *Jurnal Tekno*, 19(77), 1–10. <https://ejournal.unsrat.ac.id/>
- Martins, A. C. O., Silva, M. C. A., & Benetti, A. D. (2021). Evaluation and optimization of ASM1 parameters using large-scale WWTP monitoring data from a subtropical climate region in Brazil. *Water Practice and Technology*, 17(1), 268–284. <https://doi.org/10.2166/wpt.2021.109>
- McGraw-Hill. (2009). Clarifier Design Second Edition “Manual of Practice” No. FD-8. In *WEFPRESS* (Vol. 2). <https://doi.org/10.13140/2.1.1230.8805>
- McHarg, A. M. (2002). *Optimisation of Municipal Wastewater Biological Nutrient*

Removal Using Computer Simulation.

- Muhsinin, N. (2019). Pengolahan Air Limbah Domestik Secara Fitoremediasi Sistem Constructed Wetland dengan Tanaman Pandanus Amaryllifolius dan Azolla Microphilla. In *Universitas Gajah Mada*.
- Ningtyas, R. (2015). Pengolahan Air Limbah dengan Proses Lumpur Aktif. *Jurnal Penelitian*, 3(2), 1–11.
- Nurhayati, & Kosmaliati, L. (2011). Perencanaan Fasilitas Penyaring Sampah Unit Produksi Instalasi Pengolahan Air Minum PT. Tirta Cisadane Serpong. *Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik*, 7(1), 22–37.
- O, M. P. G., Mochammad, A. P., Sandyanto, A., & M, H. D. (2020). Modeling Performance of Industrial Park Wastewater Treatment Plant by STOAT software. In *E3S Web of Conferences*.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021102018>
- Pitoyo, E., Hendriarianti, E., Karnaningroem, N., Lingkungan, T., Teknik, F., & Teknologi, I. (2017). Evaluasi IPAL Komunal Pada Kelurahan Tlogomas, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang. *Jurnal Purifikasi*, 17(1), 1–10.
- Purwatinigrum, O. (2018). Gambaran Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Komunal di Kelurahan Simokerto, Kecamatan Simokerto, Kota Surabaya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(2), 241–251.
- Ramadhani, M. A. (2018). *Evaluasi dan Perencanaan Pengelolaan Air Limbah Di Kecamatan Banjarmasin Selatan Kota Banjarmasin*.
- Rarasari, D. M. G., Restu, I. W., & Ernawati, N. M. (2019). Efektivitas Pengolahan Limbah Domestik di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Suwung-Denpasar, Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 5(2), 153–163.
<https://doi.org/10.24843/jmas.2019.v05.i02.p01>
- Rasmito, A., & Badryah. (2018). Pengaruh Backflushing dan Konsentrasi Biomassa Limbah Cair Terhadap Kinerja Bioreaktor Membran Terendam. *Jurnal Teknik*

Industri dan Kimia, 1(1), 16–23.

- Rilisavitri, H. (2021). *Perbandingan Performa Trickling Filter dan Rotating Biological Contactor Sebagai Polishing Unit Dari UASB Melalui Simulasi Model Menggunakan Software GPS-X*.
- Rohendi, A., Dhuha, S., Sugesti, C. S., & Anas, A. A. (2021). Evaluasi Penerapan Program Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal di Kota Banda Aceh. *Lingkar : Journal of Environmental Engineering*, 2(1), 18–28.
- 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 Transactions*, 63, 691–696. <https://doi.org/10.3303/CET1863116>
- Said, N. I., & Sya'bani, M. R. (2014). Penghilangan Amoniak di Dalam Air Limbah Domestik Dengan Proses Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). *Jurnal Air Indonesia*, 7(1), 44–65.
- 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), 243–248.
- SESRIC. (2011). *Urban Wastewater Treatment Technologies*. Statistical, Economic and Social Research and Training Centre for Islamic Countries.
- Stantec. (2008). SEWPCC Upgrading / Expansion Preliminary Design Report - Section 8: Biological Nutrient Removal Process Options. In *SEWPCC Upgrading / Expansion Preliminary Design Report* (hal. 1–59).
- Susanthi, D., Yanuar Purwanto, M. J., Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, P., Pascasarjana, S., & Pertanian Bogor, I. (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.

Wang, L. K., Hung, Y.-T., & Shamma, N. K. (2005). Physicochemical Treatment
Processes. In *Humana Press*.

Wang, W., Shi, C., Yang, J., Zeng, M., Dai, Z., & Zhang, Z. (2019). Modelling
Performance of Oxidation Ditch in Wastewater Treatment Plant by STOAT
Software. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 300(3).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/300/3/032065>

WRc plc. (2013). *WRc STOAT Tutorial Guide* (hal. 1–80).

Wulandari, P. R. (2014). Perencanaan Pengolahan Air Limbah Sistem Terpusat
(Studi Kasus Di Perumahan PT. Pertamina Unit Pelayanan III Plaju - Sumatera
Selatan). *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2(3), 499–509.

LAMPIRAN

Lampiran I. Proyeksi Penduduk

A) Proyeksi Hitungan Mundur (*Backward Projection*)

Backward projection merupakan metode yang digunakan untuk memproyeksikan kembali jumlah penduduk ke belakang. Terdapat tiga metode untuk menghitung proyeksi penduduk, yaitu:

a. Proyeksi Metode Aritmatik

Dalam metode aritmatik rumus yang digunakan yaitu:

$$K_a = \frac{P_{\text{tahun terakhir}} - P_{\text{tahun pertama}}}{\text{Tahun terakhir} - \text{Tahun pertama}}$$

$$P_n = P_o + [K_a (T_n - T_o)]$$

Keterangan:

P_n : Jumlah penduduk tahun ke-n

P_o : Jumlah penduduk tahun terakhir

K_a : Konstanta aritmatik (rerata selisih jiwa)

T_n : Tahun ke-n

T_o : Tahun terakhir

Tabel I. 1 Perhitungan Proyeksi Metode Aritmatik

Tahun	Tahun Ke-n (X)	Jumlah Penduduk	Pertumbuhan Penduduk		Hasil Perhitungan Aritmatik (Yi)	(Yi - Ymean)	(Yi - Ymean) ²
			Jiwa	Ratio			
2010	1	9645	-	0.00%	9645	-1224	1496952
2011	2	9839	194	1.97%	9867	-1001	1002092
2012	3	10028	189	1.88%	10090	-779	606204
2013	4	10216	188	1.84%	10312	-556	309288
2014	5	10399	183	1.76%	10535	-334	111344
2015	6	10578	179	1.69%	10757	-111	12372
2016	7	10755	177	1.65%	10980	111	12372
2017	8	10926	171	1.57%	11202	334	111344
2018	9	11091	165	1.49%	11425	556	309288
2019	10	11251	160	1.42%	11647	779	606204
2020	11	11404	153	1.34%	11870	1001	1002092

2021	12	12092	688	5.69%	12092	1224	1496952
Jumlah	78	128224	2447	22.30%	130422		7076502
Rerata		10685	222	1.86%	10869		589708
Standar Deviasi		767.92					
Ka		222					

Sumber: Hasil Perhitungan (2022)

Contoh perhitungan

- Menghitung nilai Ka

$$\begin{aligned}
 Ka &= \frac{Ptahun\ terakhir - Ptahun\ pertama}{Tahun\ terakhir - Tahun\ pertama} \\
 &= \frac{12092 - 9645}{2021 - 2010} \\
 &= 222\ jiwa/tahun
 \end{aligned}$$

- Menghitung jumlah penduduk tahun ke-n

$$\begin{aligned}
 P_{2021} &= P_o + [Ka (T_a - T_o)] \\
 &= 12092 + 222 (2021 - 2021) \\
 &= 12092\ jiwa
 \end{aligned}$$

- Menghitung Standar Deviasi (SD)

$$\begin{aligned}
 SD &= \sqrt{\frac{\sum(Y_i - Y)^2}{n}} \\
 &= \sqrt{\frac{7.076.502}{12}} \\
 &= 767,92
 \end{aligned}$$

b. Proyeksi Metode Geometrik

Perhitungan metode geometrik ini menggunakan rumus:

$$P_n = P_o \times [(1 + r)^n]$$

Keterangan :

P_n : Penduduk tahun ke-n

P_o : Penduduk tahun dasar

r : Konstanta geometrik

T_n : Tahun ke-n

T_o : Tahun dasar

Tabel I. 2 Perhitungan Proyeksi Metode Geometrik

Tahun	Tahun Ke-n (X)	Jumlah Penduduk	Pertumbuhan Penduduk		Hasil Perhitungan Geometrik (Yi)	(Yi - Ymean)	(Yi - Ymean) ²
			Jiwa	Ratio			
2010	1	9645	-	0.00%	9828	-1096	1201779.31
2011	2	9839	194	1.97%	10015	-909	826850.49
2012	3	10028	189	1.88%	10206	-719	516693.05
2013	4	10216	188	1.84%	10400	-525	275300.29
2014	5	10399	183	1.76%	10598	-327	106847.48
2015	6	10578	179	1.69%	10799	-125	15699.44
2016	7	10755	177	1.65%	11005	80	6418.36
2017	8	10926	171	1.57%	11214	289	83771.91
2018	9	11091	165	1.49%	11427	503	252741.77
2019	10	11251	160	1.42%	11645	720	518532.39
2020	11	11404	153	1.34%	11866	942	886580.16
2021	12	12092	688	5.69%	12092	1167	1362562.93
Jumlah	78	128224	2447	22.30%	131097		6053778
Rerata		10685	222	1.86%	10925		504481
Standar Deviasi	710.27						
r	0.019						

Sumber: Hasil Perhitungan (2022)

Contoh perhitungan

- Menghitung nilai r

$$r = \frac{\sum \text{pertumbuhan penduduk (\%)}}{\text{Jumlah data}}$$

$$= \frac{22,30\%}{12}$$

$$= 0,019$$

- Menghitung jumlah penduduk tahun ke-n

$$P_{2021} = P_0 \times [(1 + r)^n]$$

$$= 12092 \times (1 + 0,019)^{(2021 - 2021)}$$

$$= 12092 \text{ jiwa}$$

- Menghitung Standar Deviasi (SD)

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - Y)^2}{n}}$$

$$= \sqrt{\frac{6.053.778}{12}}$$

$$= 710,27$$

c. Proyeksi Metode *Least Square*

Perhitungan metode least square menggunakan rumus:

$$P_n = a + bX$$

Dimana a dan b adalah:

$$b = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum Y^2 - (\sum X)^2} \quad a = \frac{\sum Y - b \sum X}{n}$$

Keterangan :

\bar{Y} : Nilai variabel berdasarkan garis regresi

X : Variabel independen

a : Konstanta

b : Koefisien arah regresi linier

Tabel I. 3 Perhitungan Proyeksi Metode Least Square

Tahun	Tahun Ke-n (X)	Jumlah Penduduk (Y)	XY	X ²	Pertumbuhan Penduduk		Hasil Perhitungan Least Square (Yi)	(Yi - Ymean)	(Yi - Ymean) ²
					Jiwa	Ratio			
2010	1	9645	9645	1	-	0.00%	9614	-1071	1147205.78
2011	2	9839	19678	4	194	1.97%	9809	-876	767964.20
2012	3	10028	30084	9	189	1.88%	10004	-682	464570.93
2013	4	10216	40864	16	188	1.84%	10198	-487	237025.99
2014	5	10399	51995	25	183	1.76%	10393	-292	85329.36
2015	6	10578	63468	36	179	1.69%	10588	-97	9481.04
2016	7	10755	75285	49	177	1.65%	10783	97	9481.04
2017	8	10926	87408	64	171	1.57%	10977	292	85329.36
2018	9	11091	99819	81	165	1.49%	11172	487	237025.99
2019	10	11251	112510	100	160	1.42%	11367	682	464570.93
2020	11	11404	125444	121	153	1.34%	11562	876	767964.20
2021	12	12092	145104	144	688	5.69%	11756	1071	1147205.78
Jumlah	78	128224	861304	650	2447	22.30%	128224		5423154.57
Rerata		10685	71775	54	222	1.86%	10685		451929.55
Standar Deviasi							672.26		
b							194.74		

a	9419.52
----------	----------------

Sumber: Hasil Perhitungan (2022)

Contoh perhitungan

- Menghitung nilai b

$$b = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum Y^2 - (\sum X)^2}$$

$$= \frac{(12 \times 861.304) - (78 \times 128.224)}{(12 \times 650) - (78)^2}$$

$$= 194,74$$

- Menghitung nilai a

$$a = \frac{\sum Y - b \sum X}{n}$$

$$= \frac{128.224 - (194,74 \times 78)}{12}$$

$$= 9.419,52$$

- Menghitung jumlah penduduk tahun ke-n

$$P_{2021} = a + bX$$

$$= 9.419,52 + (194,74 \times 12)$$

$$= 11.756 \text{ jiwa}$$

- Menghitung Standar Deviasi (SD)

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - Y)^2}{n}}$$

$$= \sqrt{\frac{5.423.154,57}{12}}$$

$$= 672,26$$

d. Perbandingan Ketiga Metode

Tabel I. 4 Perbandingan Ketiga Metode

No	Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Metode		
			Aritmatik	Geometrik	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	130422	131097	128224
Standar Deviasi		767.92	710.27	672.26	

Sumber: Hasil Perhitungan (2022)

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan 3 metode, metode yang menunjukkan nilai standar deviasi terkecil yaitu metode *least square*. Maka dari itu, metode *least square* digunakan untuk memproyeksikan jumlah penduduk dalam kurun waktu 10 tahun mendatang.

B) Proyeksi Hitungan Maju (*Forward Projection*)

Forward projection merupakan metode yang digunakan untuk memproyeksikan jumlah penduduk ke depan. Berdasarkan hitungan *backward projection* metode yang memiliki standar deviasi paling terkecil adalah metode *least square*. Oleh karena itu, metode *least square* digunakan dalam perhitungan *forward projection*. Tabel I.5 merupakan hasil dari perhitungan proyeksi maju penduduk Wilayah X selama 10 tahun kedepan sebagai berikut:

Tabel I. 5 Proyeksi Penduduk Maju Wilayah X 10 Tahun Kedepan Menggunakan Metode Least Square

No	Tahun Ke -	Tahun	Jumlah Penduduk
1	12	2021	12092
2	13	2022	11951
3	14	2023	12146
4	15	2024	12341
5	16	2025	12535
6	17	2026	12730

7	18	2027	12925
8	19	2028	13120
9	20	2029	13314
10	21	2030	13509
11	22	2031	13704
12	23	2032	13899

Sumber: Hasil Perhitungan (2022)

Contoh Perhitungan

- Perhitungan jumlah penduduk pada tahun perencanaan 2032

$$P_{2032} = a + bX$$

$$= 9.419,52 + (194,74 \times 23)$$

$$= 13.899 \text{ jiwa}$$

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 المعهد الإسلامي للدراسات والبحوث

Lampiran II. Perhitungan Debit Air Limbah

Tabel II. 1 Detail Perhitungan Air Limbah Wilayah X

No	Tahun	Jumlah Penduduk	Persentase Pelayanan	Jumlah Penduduk Terlayani	Jumlah Kebutuhan Air	Kebutuhan Air Bersih (Qab)		Debit AL rata-rata (Qr)		Debit AL infiltrasi (Qinf)		Faktor Puncak (Fp)	Debit AL puncak (Qpeak)	
		Jiwa	%	Jiwa	L/jiwa/hari	L/hari	lt/dtk	lt/dtk	m3/detik	lt/dtk	m3/detik		lt/dtk	m3/detik
1	2021	12092	70%	8464	60	507864.0	5.878	4.702	0.00470	0.470	0.00047	3.262	15.808	0.016
2	2022	11951	70%	8366	60	501948.4	5.810	4.648	0.00465	0.465	0.00046	3.269	15.660	0.016
3	2023	12146	70%	8502	60	510127.5	5.904	4.723	0.00472	0.472	0.00047	3.259	15.865	0.016
4	2024	12341	80%	9873	60	592350.4	6.856	5.485	0.00548	0.548	0.00055	3.163	17.896	0.018
5	2025	12535	80%	10028	60	601698.0	6.964	5.571	0.00557	0.557	0.00056	3.153	18.123	0.018
6	2026	12730	80%	10184	60	611045.6	7.072	5.658	0.00566	0.566	0.00057	3.143	18.350	0.018
7	2027	12925	90%	11632	60	697942.3	8.078	6.462	0.00646	0.646	0.00065	3.061	20.427	0.020
8	2028	13120	90%	11808	60	708458.3	8.200	6.560	0.00656	0.656	0.00066	3.052	20.674	0.021
9	2029	13314	90%	11983	60	718974.4	8.321	6.657	0.00666	0.666	0.00067	3.043	20.921	0.021
10	2030	13509	100%	13509	60	810544.9	9.381	7.505	0.00751	0.751	0.00075	2.971	23.045	0.023
11	2031	13704	100%	13704	60	822229.4	9.517	7.613	0.00761	0.761	0.00076	2.962	23.313	0.023
12	2032	13899	100%	13899	60	833913.8	9.652	7.721	0.00772	0.772	0.00077	2.954	23.579	0.024

Sumber: Hasil Perhitungan (2022)

Contoh perhitungan pada tahun 2032

- Jumlah penduduk terlayani

$$\begin{aligned}\text{Jumlah penduduk terlayani} &= \text{jumlah penduduk} \times \text{persentase} \\ &\quad \text{pelayanan} \\ &= 13899 \times 100\% \\ &= 13899 \text{ jiwa}\end{aligned}$$

- Kebutuhan air bersih (Qab)

$$\begin{aligned}\text{Qab} &= \text{jumlah penduduk terlayani} \times \text{jumlah kebutuhan air} \\ &= 13899 \text{ jiwa} \times 60 \text{ liter/jiwa/hari} \\ &= 833.913,8 \text{ L/hari} \\ &= 9,652 \text{ L/detik}\end{aligned}$$

- Debit air limbah rata-rata (Qr)

$$\begin{aligned}\text{Qr} &= 80\% \times \text{Qab} \\ &= 80\% \times 9,652 \text{ L/detik} \\ &= 7,721 \text{ L/detik} \\ &= 0,00772 \text{ m}^3/\text{detik}\end{aligned}$$

- Debit infiltrasi (Qinf)

$$\begin{aligned}\text{Qinf} &= 0,1 \times \text{Qr} \\ &= 0,1 \times 7,721 \text{ L/detik} \\ &= 0,772 \text{ L/detik} \\ &= 0,00077 \text{ m}^3/\text{detik}\end{aligned}$$

- Faktor puncak (fp)

$$\begin{aligned}\text{Fp} &= \frac{5}{\left(\frac{P}{100}\right)^{0,2}} \\ &= \frac{5}{\left(\frac{13899}{1000}\right)^{0,2}} \\ &= 2,954\end{aligned}$$

- Debit puncak (Qp)

$$\begin{aligned}\text{Qp} &= (\text{Fp} \times \text{Qr}) + \text{Qinf} \\ &= (2,954 \times 7,721 \text{ L/detik}) + 0,772 \text{ L/detik} \\ &= 23,579 \text{ L/detik} = 0,024 \text{ m}^3/\text{detik}\end{aligned}$$

Lampiran III. Detail Perhitungan Unit Perencanaan IPAL

III.a. Bar Screen

Tabel III. 1 Kriteria Desain Unit Bar Screen

Parameter	Besar Nilai Kriteria	Kriteria Digunakan
Kecepatan maksimum aliran melalui bar (m/s)	0,3 - 0,6	0.6
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

Data Perencanaan

Jumlah unit	= 1 buah
Qp	= 0,024 m ³ /s
Valiran	= 0,6 m/s
Dpipa	= 0,5 m
Z ₁	= 0 m (ketinggian dasar pipa)
Jumlah celah	= 50 buah
Lebar jarak screen	= 25 mm
Lebar batang screen	= 4 mm
Kedalaman air di dalam pipa (d ₁)	= 80% x Dpipa = 80% x 0,5 m = 0,4 m

Perhitungan (Dewi, 2014 dan Buku B – SPALD-T, 2018)

a) Lebar saluran screening dan jumlah bar

- Luas penampang bar (A) = $\frac{Qp}{Valiran}$
= $\frac{0,024}{0,6}$
= 0,039 m²

- $\text{Lebar area bersih screen} = \frac{A}{d_1}$

$$= \frac{0,039}{80\% \times 0,5}$$

$$= \frac{0,039}{0,4}$$

$$= 0,098 \text{ m}$$
- $\text{Lebar screen} = \text{jumlah celah} \times \text{lebar jarak screen}$

$$= 50 \times 25 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}}$$

$$= 1,25 \text{ m}$$
- $\text{Jumlah bar} = \text{jumlah celah} + 1$

$$= 50 + 1$$

$$= 51 \text{ buah}$$
- $\text{Lebar saluran screen}$

$$= l_{\text{area bersih screen}} + (l_{\text{batang screen}} \times \text{jumlah batang})$$

$$= 0,098 \text{ m} + \left(4 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \times 51\right)$$

$$= 0,302 \text{ m}$$
- $\text{Koef. Efisiensi} = \frac{\text{Bukaan bersih}}{\text{Lebar chamber}}$

$$= \frac{51 \text{ buah} \times 25 \text{ mm}}{0,302 \text{ m}} \times \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}}$$

$$= 4,22$$

b) Kecepatan aliran (V_2) dan kedalaman air (d_2) sebelum screening

- Kedalaman air (d_2) sebelum screening

$$Z_1 + d_1 + \frac{v^2}{2g} = Z_2 + d_2 + \frac{V^2}{2g} + hL$$

$$Z_1 + d_1 + \frac{v^2}{2g} = Z_2 + d_2 + \frac{V^2}{2g} + Ke \left(\frac{v^2}{2g} - \frac{v^2}{2g} \right)$$

$$0 + 0,4 + \frac{0,6^2}{2 \times 9,81} = 0 + d_2 + \frac{\left(\frac{0,024}{0,302 \times d_2}\right)^2}{2 \times 9,81} + \left[0,3 \left(\frac{0,6^2}{2 \times 9,81} - \frac{\left(\frac{0,024}{0,302 \times d_2}\right)^2}{2 \times 9,81} \right) \right]$$

$$0,42 = d_2 + \frac{0,0006}{1,79 d_2^2} + 0,3 \left(\frac{0,360}{19,62} - \frac{0,0006}{1,76 d_2^2} \right)$$

$$0,42 = d_2 + \frac{0,0006}{1,79 d_2^2} + 0,3 \left(\frac{0,03 d_2^2 - 0,0006}{1,79 d_2^2} \right)$$

$$0,42 = d_2 + \frac{0,0006}{1,79 d_2^2} + \frac{0,0099 d_2^2}{1,79 d_2^2} - \frac{0,0002}{1,79 d_2^2}$$

$$0,42 = \frac{1,79 d_2^3 + 0,0099 d_2^2 + 0,0004}{1,79 d_2^2}$$

$$0,75 d_2^2 = 1,79 d_2^3 + 0,0099 d_2^2 + 0,0004$$

$$0 = 1,79 d_2^3 + 0,0099 d_2^2 - 0,75 d_2^2 + 0,0004$$

$$0 = 1,79 d_2^3 - 0,7388 d_2^2 + 0,0004$$

$$d_2 = 0,41 \text{ m (trial and error)}$$

- Kecepatan aliran (V2) sebelum screening

$$V_2 = \frac{Qp}{d_2 \times L_{saluran}} = \frac{0,024}{0,41 \times 0,302} = 0,19 \text{ m}^2/\text{s}$$

- c) Headloss saat bersih

- Kecepatan aliran V2 melewati bar screen saat bersih

$$V_2 = \frac{Qp}{d_2 \times L_{bukaan\ screening}} = \frac{0,024}{0,41 \times 0,098} = 0,585 \text{ m}^2/\text{s}$$

- Headloss saat bersih

$$\begin{aligned} H_{L\text{ Bersih}} &= \frac{V_2 \text{ Bersih}^2 - V_2^2}{2g} \times \left(\frac{1}{0,7}\right) \\ &= \frac{0,585^2 - 0,19^2}{2 \times 9,81} \times \left(\frac{1}{0,7}\right) \\ &= 0,02 \text{ m} \end{aligned}$$

- d) Kecepatan aliran (V3) dan kedalaman air (d3) setelah screening

- Kedalaman air (d3) setelah screening

$$Z_2 + d_2 + \frac{v_2^2}{2g} = Z_3 + d_3 + \frac{V_3^2}{2g} + hL$$

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

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

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

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

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

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

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

- Kecepatan aliran V3 setelah screening

$$V_3 = \frac{Qp}{d_3 \times L_{saluran}} = \frac{0,024}{0,39 \times 0,302} = 0,20 \text{ m}^2/\text{s}$$

- e) Kecepatan aliran (V_2') dan kedalaman air (d_2') saat headloss 50%

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

$$V_2' = \frac{Qp}{L_{saluran} \times d_2'} = \frac{0,024}{0,302 \times d_2'} = \frac{0,08}{d_2'}$$

$$\begin{aligned} H_{L50} &= \frac{V_{50}^2 - V_2'^2}{2g} \times \left(\frac{1}{0,7}\right) \\ &= \frac{\left(\frac{0,16}{d_2'}\right)^2 - \left(\frac{0,08}{d_2'}\right)^2}{2 \times 9,81} \times \left(\frac{1}{0,7}\right) \\ &= \frac{\left(\frac{0,018}{d_2'^2}\right)}{19,62} \times \left(\frac{1}{0,7}\right) \\ &= \frac{0,018}{13,73 d_2'^2} \\ &= \frac{0,0013}{d_2'^2} \end{aligned}$$

- Menghitung $d_2'^2$

$$d_2' + \frac{V_2'^2}{2g} = d_3 + \frac{V_3^2}{2g} + hL50$$

$$d_2' + \frac{\left(\frac{0,08}{d_2'}\right)^2}{2 \times 9,81} = 0,39 + \frac{0,20^2}{2 \times 9,81} + \frac{0,0013}{d_2'^2}$$

$$d_2' + \frac{0,0061}{19,62 d_2'^2} = 0,39 + 0,002 + \frac{0,0013}{d_2'^2}$$

$$-0,392 = -d_2' - \frac{0,0061}{19,62 d_2'^2} + \frac{0,0013}{d_2'^2}$$

$$-0,392 = \frac{-19,62 d_2'^3 - 0,0061 + 0,03}{19,62 d_2'^2}$$

$$-7,69 d_2'^2 = -19,62 d_2'^3 + 0,0201$$

$$0 = -19,62 d_2'^3 + 7,69 d_2'^2 + 0,0201$$

$$d_2' = 0,4 \text{ m (trial n error)}$$

- Kecepatan aliran V_2' saat clogging 50%

$$V_2' = \frac{Qp}{d_2' \times L_{saturan}} = \frac{0,024}{0,4 \times 0,302} = 0,195 \text{ m}^2/\text{s}$$

- f) Headloss 50% clogging

$$H_{L50} = d_2' - d_3 = 0,4 - 0,39 = 0,01 \text{ m}$$

III.b. Bak Ekualisasi

Tabel III. 2 Kriteria Desain Unit 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 ³ /m ³ .menit
Kemiringan dasar tangki	S	40-100	mm/m
waktu detensi	t	0.5-2	jam

Sumber: Buku B – SPALDT, 2018 dan Metcalf & Eddy dalam Priyanka, 2012

Data Perencanaan

$$Q_r = 27,80 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Waktu tinggal} = 1 \text{ jam}$$

$$\text{Kedalaman bak} = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Rasio P : L} = 1 : 1$$

Perhitungan (Nanga, 2017)

$$\begin{aligned} \text{a) Volume bak} &= \text{debit} \times \text{waktu tinggal} \\ &= 27,80 \text{ m}^3/\text{jam} \times 1 \text{ jam} \\ &= 27,80 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) Luas permukaan} &= \frac{\text{volume bak}}{\text{kedalaman bak}} \\ &= \frac{27,80 \text{ m}^3}{1,5 \text{ m}} \\ &= 18,53 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- c) Dimensi bak

- Panjang = $\sqrt{\text{Luas permukaan}}$

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

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

- Lebar = Panjang = 4,3 m

d) Volume digunakan = P x L x T

$$= 4,3 \text{ m} \times 4,3 \text{ m} \times 1,5$$

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

e) Pompa

- Head statis = 2 m

- A pipa = $\frac{Q_{\text{peak}}}{\text{Kecepatan (V)}}$

$$= \frac{0,0234 \text{ m}^3/\text{detik}}{1 \text{ m}/\text{detik}}$$

$$= 0,024 \text{ m}^2$$

- Diameter pipa = $\sqrt{\frac{4 \times Q_{\text{peak}}}{3,14 \times 3}}$

$$= \sqrt{\frac{4 \times 0,0234 \text{ m}^3/\text{detik}}{3,14 \times 3}}$$

$$= 0,1 \text{ m}$$

- Hf mayor

$$\text{Hf discharge} = \frac{Q_{\text{peak}}}{(0,785 \times \text{Panjang pipa} \times D^2)^{1,85}} \times 0,5$$

$$= \frac{0,0234 \text{ m}^3/\text{detik}}{(0,2785 \times 5 \text{ m} \times 0,1^2)^{1,85}} \times 0,5$$

$$= 1,32 \text{ m}$$

- Hf minor

$$n = 1$$

$$k = 0,25$$

$$\text{Hf} = \frac{n \times (k \times V^2)}{2 \times 9,81}$$

$$= \frac{1 \times (0,25 \times 1^2)}{2 \times 9,81}$$

III.c. Lumpur Aktif Konvensional

Tabel III. 3 Kriteria Desain Unit Lumpur Aktif Konvensional

Parameter	Besar Nilai Kriteria	Kriteria Digunakan
Umur sel (hari)	5 - 15	5
MLSS (mg/l)	2500 - 4000	2500
Koefisien Decay (/hari)	0,025 - 0,075	0.025
Koefisien pertumbuhan (kg VSS/mg BOD ₅)	0,4 - 0,8	0.8

Sumber: (Metcalf & Eddy, 1991)

Data Perencanaan

Jumlah unit = 1 buah

Qp = 0,024 m³/s = 2.037,262 m³/hari

Kedalaman bak = 3 m

Θc rancangan (SRT) = 5 hari

Koefisien pertumbuhan (Y) = 0,8 kg VSS/kg BOD₅

Koefisien Decay (Kd) = 0,025 /hari

MLSS = 2500 mg/l = 3 kg/m³

MLVSS = 2000 mg TSS/l

Rasio Panjang : Lebar = 1 : 1

BOD influen = 128 mg/l

BOD soluble influen = 57,5 mg/l

Rasio BOD/BODu (f) = 0,7

Fraksi VSS/TSS (G) = 0,85 (Tipikal 0,8 – 0,85)

Konsentrasi TSS pada efluen (Xe) = 26 mg/l

Perhitungan (Buku B – SPALD-T, 2018 dan Qasim, 2018)

a) BOD efluen *suspended solid* = 1,42 x f x G x Xe
= 1,42 x 0,7 x 0,85 x 24
= 21,967 mg/l

b) BOD efluen
= BOD soluble influen - BOD efluen *suspended solid*
= 57,5 mg/l - 21,967 mg/l

$$= 35.533 \text{ mg/l}$$

$$\begin{aligned} \text{c) } Y_{\text{obs}} &= \frac{Y}{1+(K_d \times \theta_c)} \\ &= \frac{0,8}{1+(0,025 \times 5)} \\ &= 0,71 \text{ VSS/mg BOD} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d) } P_x &= Y_{\text{obs}} \times Q_p \times (\text{BOD influen} - \text{BOD efluen}) \times 0,001 \\ &= 0,71 \times 2.037,262 \times (128 - 35,533) \times 0,001 \\ &= 133,96 \text{ kg VSS/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e) Total produksi TSS (} P_{\text{xss}} \text{)} &= \frac{P_x}{0,8} \\ &= \frac{133,96 \text{ kg VSS/hari}}{0,8} \\ &= 167,45 \text{ kg TSS/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f) HRT } (\Theta) &= \frac{P_x}{Q_p \times \text{MLVSS} \times 0,001} \times \Theta_c \times 24 \text{ jam} \\ &= \frac{133,96 \text{ kg VSS/hari}}{2.037,262 \text{ m}^3/\text{hari} \times 2000 \text{ mg/l} \times 0,001} \times 5 \text{ hari} \times 24 \text{ jam} \\ &= 3,95 \text{ jam} \approx 4 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{g) Volume bak} &= \frac{Q_p \times \text{HRT}}{24 \text{ jam}} \\ &= \frac{2.037,262 \text{ m}^3/\text{hari} \times 4 \text{ jam}}{24 \text{ jam}} \\ &= 339,54 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

h) Dimensi bak

- Panjang = $\sqrt{\frac{\text{Volume bak}}{\text{kedalaman bak}}}$
 $= \sqrt{\frac{339,54 \text{ m}^3}{3 \text{ m}}}$
 $= 10,6 \text{ m}$

- Lebar = Panjang = 10,6 m

$$\begin{aligned} \text{i) Efluen VSS (} X_e \text{)} &= 0,8 \times \text{konsentrasi TSS pada efluen} \\ &= 0,8 \times 26 \text{ mg/l} \\ &= 20,8 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{j) Kehilangan TSS pada efluen} \\ &= (Q_p \times \text{konsentrasi TSS pada efluen}) \times 0,001 \end{aligned}$$

$$= (2.037,262 \text{ m}^3/\text{hari} \times 26 \text{ mg/l}) \times 0,001$$

$$= 52,97 \text{ kg TSS/hari}$$

k) Kehilangan VSS pada efluen

$$= (Q_p \times X_e) \times 0,001$$

$$= (2.037,262 \text{ m}^3/\text{hari} \times 20,8 \text{ mg/l}) \times 0,001$$

$$= 42,38 \text{ kg TSS/hari}$$

l) TSS di WAS = P_{xss} - Kehilangan TSS pada efluen

$$= 167,45 \text{ kg TSS/hari} - 52,97 \text{ kg TSS/hari}$$

$$= 115,48 \text{ kg TSS/hari}$$

m) VSS di WAS = P_x - Kehilangan VSS pada efluen

$$= 133,96 \text{ kg VSS/hari} - 42,38 \text{ kg TSS/hari}$$

$$= 91,58 \text{ kg VSS/hari}$$

n) Massa lumpur yang akan dibuang

$$Q_s = P_{xss} - \left[\left(Q - \frac{Q_s}{MLVSS} \right) \times BOD \text{ eff} \right]$$

$$Q_s = P_{xss} - \left[\left(Q \times \frac{BOD \text{ eff}}{1000} \right) - \left(\frac{Q_s}{MLVSS} \times \frac{BOD \text{ eff}}{1000} \right) \right]$$

$$Q_s + \left(\frac{Q_s}{MLVSS} \times \frac{BOD \text{ eff}}{1000} \right) = P_{xss} - \left(Q \times \frac{BOD \text{ eff}}{1000} \right)$$

$$Q_s + \left(\frac{Q_s}{2,5} \times \frac{35,533}{1000} \right) = 167,45 - \left(2.037,262 \times \frac{35,533}{1000} \right)$$

$$Q_s + \left(\frac{Q_s}{2,5} \times 0,036 \right) = 167,45 - (2.037,262 \times 0,036)$$

$$Q_s + \left(\frac{0,036 Q_s}{2,5} \right) = 167,45 - 72,389$$

$$Q_s + (0,014 Q_s) = 95,06$$

$$1,014 Q_s = 95,06$$

$$Q_s = \frac{95,06}{1,014}$$

$$= 93,728 \text{ kg/hari}$$

o) $Q_{WAS} = \frac{Q_s}{MLSS}$

$$= \frac{93,728 \text{ kg/hari}}{2,5 \text{ kg/m}^3}$$

$$= 37,49 \text{ m}^3/\text{hari}$$

- p) $Q_{\text{efluen}} = Q_p - Q_{\text{WAS}}$
 $= 2.037,262 \text{ m}^3/\text{hari} - 37,49 \text{ m}^3/\text{hari}$
 $= 1.999,771 \text{ m}^3/\text{hari}$
- q) X_r (Konsentrasi VSS pada RAS) = $0,8 \times \text{TSS pada RAS}$
 $= 0,8 \times 10000 \text{ mg/l}$
 $= 8000 \text{ mg/l}$
- r) $Q_{\text{RAS}} (Q_r) = \frac{\text{MLVSS}}{X_r - \text{MLVSS}} \times Q_p$
 $= \frac{2000}{8000 - 2000} \times 2.037,262 \text{ m}^3/\text{hari}$
 $= 679,09 \text{ m}^3/\text{hari}$
- s) Rasio RAS = $\frac{\text{MLSS}}{\text{TSS pada RAS} - \text{MLSS}}$
 $= \frac{2500 \text{ mg/l}}{10000 \text{ mg/l} - 2500 \text{ mg/l}}$
 $= 0,33$
- t) $F/M = \frac{\text{BOD influen} \times 24}{\text{HRT} \times \text{MLVSS}}$
 $= \frac{128 \times 24}{4 \text{ jam} \times 2000 \text{ mg/l}}$
 $= 0,4 \text{ mg BOD} / \text{mg VSS}$
- u) Efisiensi removal BOD = $\frac{\text{BOD influen} - \text{BOD efluen}}{\text{BOD influen}} \times 100\%$
 $= \frac{128 \text{ mg/l} - 35,53 \text{ mg/l}}{128 \text{ mg/l}} \times 100\%$
 $= 72,24\%$
- v) Mass Organic Loading (MOL)
 $= \frac{\text{Efisiensi removal BOD}}{100\%} \times F/M$
 $= \frac{72,24\%}{100\%} \times 0,4$
 $= 0,28 \text{ mg BOD} / \text{mg VSS hari}$
- w) Volumetric Organic Loading (VOL)
 $= [(\text{BOD influen} - \text{BOD efluen}) \times 0,001] \times \frac{24}{\text{HRT}}$
 $= [(128 \text{ mg/l} - 35,53 \text{ mg/l}) \times 0,001] \times \frac{24}{4 \text{ jam}}$
 $= 0,55 \text{ kg BOD} / \text{m}^3 \text{ hari}$
- x) Kebutuhan oksigen (O_2)

$$= \frac{Q_p \times (\text{BOD influen} - \text{BOD efluen}) \times 0,001}{0,68} \times (1,42 \times Px)$$

$$= \frac{2.037,262 \text{ m}^3/\text{hari} \times (128 \text{ mg/l} - 35,53 \text{ mg/l}) \times 0,001}{0,68} \times (1,42 \times 133,96)$$

$$= 86,808 \text{ kg O}_2/\text{hari}$$

$$y) \% \text{SND} = \left| 1 - \frac{\text{NO}_3 \text{ produced}}{\text{NO}_4 \text{ oxidised}} \right| \times 100\%$$

$$= \left| 1 - \frac{26,15}{19,5 - 0,35} \right| \times 100\%$$

$$= 36,55\%$$

III.d. Modified University of Cape Town (MUCT)

Tabel III. 4 Kriteria Desain Unit MUCT

Parameter	Besar Nilai Kriteria	Satuan
F/M	0,1 - 0,2	/hari
SRT	10 - 30	hari
MLSS	2000 - 4000	mg/l
HRT Bak Anaerobik	1 - 2	jam
HRT Bak Anoksik 1	1 - 2	jam
HRT Bak Anoksik 2	2 - 3	jam
HRT Bak Aerobik	4 - 12	jam
HRT total	8 - 18	jam
Return/Recycle Ratio		
R _{mlr}	2 - 4	
R _{ir}	1 - 3	
R _{rs}	0,8 - 1	
RAS Recycle, %Q	100	
Anoksik Recycle, %Q	100 - 200	
Nitrified Recycle, %Q	100 - 200	

Sumber: (McHarg, 2002 dan Qasim, 2018)

Perhitungan (James E. Huff & Darryl Carstensen, 2015) :

Variabel	Deskripsi	Persamaan	Nilai	Satuan
Q	Debit aliran	-	2037.262	m ³ /hari
T	Suhu	-	20	°C
V _{total MUCT}	Total volume bak MUCT	V _{oksik} + V _{anoksik} + V _{anaerobik}	933.75	m ³
HRT total	Hydraulic Retention Time of MUCT	$\frac{V_{total\ MUCT}}{Q}$	11	jam
SRT	Desain SRT		15	hari
SRT bak oksik	Solids Retention Time bak oksik		5.455	hari
SRT bak anoksik	Solids Retention Time bak anoksik		6.8	hari
SRT bak Anaerobik	Solids Retention Time bak anaerobik		2.7	hari
P _{X,VSS}	Total estimasi produksi VSS	P _{X,VSS,hetero} + P _{X,VSS,debris} + P _{X,nbVSS} + P _{X,VSS,n}	194194696	mg/hari
			194	kg/hari
P _{X,TSS}	Total estimasi produksi TSS	$\left[\frac{P_{X,VSS,hetero} + P_{X,VSS,debris} + P_{X,VSS,n}}{0,85} \right] + P_{X,nbVSS} + P_{X,iTSS}$	308224963	mg/hari
			308	kg/hari
P _{X,bio,VSS}	Total estimasi produksi biomassa	P _{X,VSS,hetero} + P _{X,VSS,n}	133762907	mg/hari
M _{X,VSS}	Inventory of MLVSS	SRT x P _{X,VSS}	2912.92	kg
M _{X,TSS}	Inventory of MLSS	SRT x P _{X,TSS}	4623.37	kg
M _{X,bio,VSS}	Inventory of Active Biomass	SRT x P _{X,bio,VSS}	2006.44	kg
X _{VSS}	Mixed Liquor Volatile Suspended Solids (MLVSS)	M _{X,VSS} / V _{total}	2209	mg/l
X _{TSS}	Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS)	M _{X,TSS} / V _{total}	2500	mg/l

Xe	Mixed Liquor Active Biomass Concentration	$M_{X,bio,VSS} / V_{total}$	2149	mg/l
Yobs, TSS	Observed Yield based on TSS	$\frac{P_{X,TSS}}{[Q \times (bCOD_{inf} - bCOD_{eff,calc})]}$	0.606	mg TSS/ mg bCOD

Aerations Basin (Oksik / Aerobic Tank)

Variabel	Deskripsi	Persamaan	Nilai	Satuan
Voksik	Volume bak oksik	$Q \times HRT_{rancangan}$	339.544	m ³
A bak oksik	Luas permukaan bak oksik	$\frac{24 \times Voksik}{Toksik}$	113.181	m ²
Rasio P : L				
Panjang			1	
Lebar			1	
P bak oksik	Panjang bak oksik	$\sqrt{\frac{Voksik}{Toksik}}$	10.639	m
L bak oksik	Lebar bak oksik	$\sqrt{\frac{Voksik}{Toksik}}$	10.639	m
T bak oksik	Tinggi bak oksik		3	m
N bak oksik	Jumlah bak oksik		1	buah
V bak oksik	Volume bak oksik	$N_{bak\ oksik} \times V_{oksik}$	339.544	m ³
HRT rancangan	Hydraulic Retention Time rancangan		4	jam

HRT oksik	Hydraulic Retention Time bak oksik	$\frac{V_{\text{oksik}}}{Q} \times 24$	4	jam
SRT oksik	Solids Retention Time bak oksik	$SRT \times \left(\frac{V_{\text{oksik}}}{V_{\text{total MUCT}}} \right)$	5.455	hari
SRT nitrif	Minimum SRT untuk nitrifikasi	See "Nitrifier Kinetic Parameters & Design"	4.67	hari
F/M		$\frac{(Q \times \text{bCOD inf})}{(V_{\text{oksik}} \times X \text{ VSS})}$	0.22	mg BOD / mg MLSS / hari
Heterotrophic Kinetic Parameters & Design (See Metcalf & Eddy (4th Ed.), Table 8-10 for parameter value)				
μ_m	Maximum Specific Growth Rate, Heterotrophs		3.0	g VSS / g VSS / hari
K_s	Half-Velocity Constant, Heterotrophs		5.0	g bCOD/m ³
k_d	Endogenous Decay Rate, Heterotrophs		0.06	g VSS / g VSS / hari
Y	Yield, Heterotrophs		0.50	g VSS / g bCOD
$\theta_{-\mu_m}$	Temperature Constant at 20°C, Max Specific Growth Rate		1.03	
θ_{-k_s}	Temperature Constant at 20°C, Half-Velocity Constant		1.00	
θ_{-k_d}	Temperature Constant at 20°C, Endogenous Decay Rate		1.03	

fd	Fraction of Biomass Remaining as Cell Debris (fraksi biomassa tersisa)		0.20	
cBOD eff.limit	Baku mutu COD		30	mg/l
cBOD inf	Influen BOD		128	mg/l
bCOD eff.limit	Baku mutu COD		100	mg/l
bCOD inf	Influen COD		250	mg/l
bCOD eff.calc	Efluen COD	$\frac{[K_s \times (1 + k_d \times SRT_{oxic, design})]}{[SRT_{oxic, design} \times (\mu_m - k_d) - 1]}$	0.5	mg/l
Px,VSS,hetero	Produksi biomassa heterotrofik	$\frac{[Q \times Y \times (bCOD_{inf} - bCOD_{eff, calc})]}{[1 + (k_d \times SRT)]}$	133760740	mg VSS/hari
Px,VSS,debris	Produksi biomassa pada sel	$\frac{[fd \times k_d \times Q \times Y \times (bCOD_{inf} - bCOD_{eff, calc}) \times SRT]}{[1 + (k_d \times SRT)]}$	24076933	mg VSS/hari
nbVSS inf	Non-biodegradable VSS pada influen	$\frac{\text{non biodegradable particulate COD}}{\text{particulate COD}} \times VSS$	17.84	mg/l
iTSS inf	Estimasi TSS inert pada influen	TSS - VSS	42.3	mg/l
Px,nbVSS	Produksi Non-Biodegradable VSS	$(Q \times 1000) \times nbVSS_{inf}$	36354857	mg VSS/hari
Px,iTSS	Produksi TSS inert	$(Q \times 1000) \times iTSS_{inf}$	86176178	mg TSS/hari
Nitrifier Kinetic Parameters & Design				
μ_{mn}	Maximum Specific Growth Rate, Nitrifiers		0.75	mg VSS/ mg VSS / hari
Kn	Half-Velocity Constant, Nitrifiers		0.74	mg NH ₄ -N/l

k dn	Endogenous Decay Rate, Nitrifiers		0.08	mg VSS/ mg VSS / hari
Yn	Yield, Nitrifiers		0.12	mg VSS/ mg NH ₃ -N
θ-μ _{mn}	Temperature Constant at 20°C, Max Specific Growth Rate		1.070	
θ-K _n	Temperature Constant at 20°C, Half-Velocity Constant		1.053	
θ-k dn	Temperature Constant at 20°C, Endogenous Decay Rate		1.040	
NH ₃ -N eff.limit	Baku mutu NH ₃ -N		10	mg/l
TKN inf	Influen TKN	$\frac{\text{Ammonia}}{0,6}$	32.5	mg/l
NO ₃ -N eff.assumed	Konsentrasi nitrat pada efluen (asumsi 80% dari TKN)	$80\% \times TKN$	20	mg/l
Ko	Half-Saturation Constant for DO		0.5	mg/l
DO	Dissolved Oxygen		1.0	mg/l
μ _n	Specific Growth Rate, Nitrifiers	$\left[\frac{(\mu_{mn} \times \text{NH}_3 - \text{N eff})}{(K_n + \text{NH}_3 - \text{N eff})} \right] \times \left[\frac{\text{DO}}{(K_o + \text{DO})} \right] - K_{dn}$	0.386	mg VSS/ mg VSS / hari
SRT oksik,theoretical	Theoretical SRT for Nitrification	$\frac{1}{(\mu_n)}$	2.594	hari
FS nitrification	Factor of Safety for Nitrification		1.8	

SRT oksik,design	Desain SRT untuk Nitrifikasi	$FS_{\text{nitrification}} \times SRT_{\text{oksik,theoretical}}$	4.67	
P_x, VSS, n	Produksi biomassa nitrifier	$\frac{[Q \times Y_n \times (NO_3 - N_{\text{eff, assumed}})]}{[1 + (k_{dn} \times SRT)]}$	2166.91	mg VSS/hari
Oxygen & Alkalinity Consumption by Nitrification				
O_2 demand	Kebutuhan oksigen	$\frac{Q_p \times (BOD_{\text{influen}} - BOD_{\text{efluen}}) \times 0,001}{0,68} \times (1,42 \times P_x)$	258.036	kg O_2 /hari
R_o	Oxygen Demand, without denitrification		1	mg/jam
NO_3 -N oksik	Estimasi NH_3 -N to NO_3 -N	$(TKN_{\text{inf}}) - (NH_3-N_{\text{eff}}) - \left(\frac{0,12 \times P \times X, VSS}{Q} \right)$	11.1	mg/l
NO_3 -N oksik,mass	Estimasi produksi NO_3 -N dari bak oksik	$Q \times (NO_3-N_{\text{oksik}})$	22535029	mg/hari
($CaCO_3$: NH_3 -N) factor	Stoichiometric Alkalinity Required for Nitrification		7.07	mg $CaCO_3$ / mg NH_3 -N
Alk_{USED}	Jumlah alkalinitas yang dikonsumsi	$\frac{(NO_3 - No_{\text{xic,mass}})}{(CaCO_3 : NH_3 - N) \text{factor}}$	3187415.67	mg/l
%SND	SND efficiency	$\left 1 - \frac{NO_3 \text{ produced}}{NO_4 \text{ oxidised}} \right \times 100\%$	78.30	%
Return Activated Sludge				
RAS:Q	Rasio RAS : Q	$\frac{[1 - \left(\frac{HRT}{SRT} \right)]}{[\left(\frac{TSS_{\text{ras}}}{X TSS} \right) - 1]}$	1	
RAS	Debit RAS	$Q \times (RAS:Q)$	2987.30	m^3 /hari
TSS ras	TSS in RAS	Diasumsikan sama dengan nilai rata-rata	8225	mg/l
VSS ras	VSS in RAS	$(0,85 \times TSS_{\text{ras}})$	6991.25	mg/l

X ras	Konsentrasi Biomassa in RAS	$VSS_{ras} \times \left[\frac{X_e}{X_{vss1}} \right]$	4816	mg/l
Qw	Debit WAS	$\frac{(P X, TSS)}{TSS WAS} \times 1000$	37.474	m ³ /hari
TSS was	TSS in WAS (sama dengan RAS)	Diasumsikan sama dengan RAS	8225	mg/l
VSS was	VSS in WAS (sama dengan RAS)	Diasumsikan sama dengan RAS	6991	mg/l

Anoksik Zone Basin

Variabel	Deskripsi	Persamaan	Nilai	Satuan
V anoksik	Volume total bak anoksik	$V_{ano1} + V_{ano2}$	424.430	m ³
P bak anoksik	Panjang total bak anoksik	P bak anoksik 1 + P bak anoksik 2	16.736	m
L bak anoksik	Lebar total bak anoksik	L bak anoksik 1 + L bak anoksik 2	16.736	m
T bak anoksik	Tinggi total bak anoksik		3	m
V_{ano1}	Modified UCT Anoxic Zone 1 (RAS) Volume	$\frac{Q \times HRT \text{ rancangan}}{24}$	169.772	m ³
A bak anoksik 1	Luas permukaan bak anoksik 1	$\frac{V_{ano1}}{T_{ano1}}$	56.591	m ²
Rasio P : L				
Panjang			1	
Lebar			1	

P bak anoksik 1	Panjang bak anoksik 1	$\sqrt{\frac{V_{ano1}}{T_{ano1}}}$	7.523	m
L bak anoksik 1	Lebar bak anoksik 1	$\sqrt{\frac{V_{ano1}}{T_{ano1}}}$	7.523	m
T bak anoksik 1	Tinggi bak anoksik 1		3	m
V_{ano2}	Modified UCT Anoxic Zone 2 (IMLR) Volume	$\frac{Q \times \text{HRT rancangan}}{24}$	254.658	m ³
A bak anoksik 2	Luas permukaan bak anoksik 2	$\frac{V_{ano2}}{T_{ano2}}$	84.886	m ²
Rasio P : L				
Panjang			1	
Lebar			1	
P bak anoksik 2	Panjang bak anoksik 2	$\sqrt{\frac{V_{ano2}}{T_{ano2}}}$	9.213	m
L bak anoksik 2	Lebar bak anoksik 2	$\sqrt{\frac{V_{ano2}}{T_{ano2}}}$	9.213	m
T bak anoksik 2	Tinggi bak anoksik 2		3	m
$V_{ano1} / V_{anoksik}$	Fraksi volume bak anoksik 1 terhadap volume total bak anoksik	$\frac{V_{ano1}}{V_{anoksik}}$	0.4	
$V_{ano2} / V_{anoksik}$	Fraksi volume bak anoksik 2 terhadap volume total bak anoksik	$\frac{V_{ano2}}{V_{anoksik}}$	0.6	

N bak anoksik	Jumlah bak anoksik		1	buah
V anoksik,active	Volume total bak anoksik	$N_{\text{bak anoksik}} \times V_{\text{anoksik}}$	424.430	m ³
HRT anoksik	Hydraulic Retention Time bak anoksik	$\frac{V_{\text{anoksik, active}}}{Q} \times 24$	5	jam
HRT rancangan anoksik 1	Hydraulic Retention Time rancangan bak anoksik 1		2	jam
HRT rancangan anoksik 2	Hydraulic Retention Time rancangan bak anoksik 1		3	jam
SRT anoksik	Solids Retention Time bak anoksik	$\left(\frac{V_{\text{anoksik}}}{V_{\text{total MUCT}}}\right) \times \text{SRT}$	6.8	hari
Q ano 1	Debit bak anoksik 1	$\left(\frac{V_{\text{ano1}}}{\text{HRT rancangan ano1}}\right) \times 24$	2037.262	m ³ /hari
Q ano 2	Debit bak anoksik 2	$\left(\frac{V_{\text{ano2}}}{\text{HRT rancangan ano2}}\right) \times 24$	2037.262	m ³ /hari
Q anoksik	Debit total bak anoksik	$Q + \text{RAS} + \text{IMLR}_{\text{nitrate}}$	11401.798	m ³ /hari
v anoksik (velocity)	Kecepatan pada bak anoksik	$\frac{V_{\text{anoksik}}}{A_{\text{bak anoksik}}}$	80.591	m/s
NO ₃ -N eff	Target efluen NO ₃ -N		6	mg/l
NO ₃ -N oksik	Jumlah NO ₃ -N dari bak oksik	See nitrification design section	11.1	mg/l
IMLR _{nitrate} : Q	Rasio IMLR _{nitrate} terhadap debit	$\frac{\text{NO}_3 - \text{N oksik}}{(\text{NO}_3 - \text{N eff}) - 1 - (\text{RAS} : Q)}$	3	
IMLR _{nitrate}	Debit IMLR _{nitrate}	$Q \times (\text{IMLR}_{\text{nitrate}} : Q)$	6377.23	m ³ /hari
NO ₃ -N anoksik,load	Produksi NO ₃ -N di bak anoksik	$(Q_{\text{RAS}} + Q_{\text{Anoksik}}) \times \text{NO}_3\text{-N eff}$	86334596.559	mg/hari
F/M _b	Rasio pemberian makanan untuk mikroorganisme di bak anoksik	$\frac{(Q \times 1000) \times \text{cBOD inf}}{V_{\text{anoksik, active}} \times X_e}$	0.2859	mg cBOD/ mg VSS hari

sCOD:COD	Perkiraan Rasio sCOD terhadap COD di influen		0.18	
SDNR _b	Specific Denitrification Rate, f(F/M _b)	Metcalf & Eddy, Figure 8-23	0.18	mg NO ₃ -N/ mg VSS hari
θ-K _n	Temperature Constant at 20°C, Half-Velocity Constant		1.026	
SDNR _T	Temperature-Corrected SDNR	SDNR _b x θ-K _n	0.185	mg NO ₃ -N/ mg VSS hari
SDNR _{adjust} (Metcalf & Eddy, Eq 8-45 and 8-46)	IMLR Ratio-Adjusted SDNR	1 - F/M _b - 0,0078	0.71	mg NO ₃ -N/ mg VSS hari
NO _r	Nitrate Removal Capacity	(V anoksik,active x 1000) x SDN _{adjust} x X _e	644136541.330	mg NO ₃ -N/hari
	Nitrate Removal Capacity less Loading	(NO _r) - (NO ₃ -N anoksik,load)	557801944.771	mg NO ₃ -N/hari
Oxygen & Alkalinity Credit				
R o,anoksik	Anoxic Oxygen Credit	(NO ₃ -N anoksik,load) x (Oxygen Credit Factor)	10288206	mg/jam
Oxygen credit factor	Anoxic Oxygen Credit Factor		2.86	mg O ₂ / mg NO ₃ -N
Alk anoksik	Anoxic Alkalinity Credit	[(NO ₃ -N oksik) - (NO ₃ -N eff)] x (Alkalinity Credit Factor)	18.07	mg/l
Alkalinity credit factor	Anoxic Alkalinity Credit Factor		3.57	mg CaCO ₃ / mg NO ₃ -N

Anaerobik Zone Basin

Variabel	Deskripsi	Persamaan	Nilai	Satuan
----------	-----------	-----------	-------	--------

V anaerobik	Volume bak anaerobik	$\frac{Q \times \text{HRT rancangan}}{24}$	169.772	m ³
A bak anaerobik	Luas permukaan bak anaerobik	$\frac{V_{\text{anaerobik}}}{T_{\text{anaerobik}}}$	56.591	m ²
Rasio P : L				
Panjang			1	
Lebar			1	
P bak anaerobik	Panjang bak anaerobik	$\sqrt{\frac{V_{\text{anaerobik}}}{T_{\text{anaerobik}}}}$	7.523	m
L bak anaerobik	Lebar bak anaerobik	$\sqrt{\frac{V_{\text{anaerobik}}}{T_{\text{anaerobik}}}}$	7.523	m
T bak anaerobik	Tinggi bak anaerobik		3	m
N bak anaerobik	Jumlah bak anaerobik		1	buah
V anaerobik, active	Volume bak anaerobik	$N_{\text{bak anaerobik}} \times V_{\text{anaerobik}}$	169.772	m ³
HRT rancangan	Hydraulic Retention Time rancangan bak anaerobik		2	jam
HRT anaerobik	Hydraulic Retention Time bak anaerobik	$\frac{V_{\text{anaerobik}}}{Q} \times 24$	2	jam
SRT anaerobik	Solids Retention Time bak anaerobik	$\left(\frac{V_{\text{anaerobik}}}{V_{\text{total MUCT}}}\right) \times \text{SRT}$	2.7	hari
IMLR _{anaerobik} :Q	Rasio IMLR _{anaerobik} terhadap debit		4	
IMLR _{anaerobik}	Debit IMLR _{anaerobik}	$(\text{IMLR}_{\text{anaerobik}}:Q) \times Q$	8149.05	m ³ /hari

sCOD prim,load	Produksi COD terlarut pada limbah	$\text{COD Total} \times 0,26$	65	mg/hari
sCOD load	Produksi COD terlarut di bak anaerobik		65	mg/hari
sCOD/P factor	Unit amount of sCOD per P removed		10	mg sCOD/mg P
P-sCOD-limit	sCOD-limited Phosphorus Removal Potential	$\frac{(\text{sCOD load})}{(\text{sCOD/P factor})}$	7	mg P/hari
P/VSS-hetero	Phosphorus content of non-EBPR Heterotrophic Biomass		0.015	mg P/ mg VSS
P-hetero	Phosphorus used for non-EBPR Heterotrophic Biomass	$P_{x,VSS,hetero} \times P/VSS-hetero$	2006411	mg P/hari
P removal-potential	Potensi penghilangan fosfor	$P-sCOD-limit + P-hetero$	2006418	mg P/hari
P inf,load	Produksi fosfor pada influen limbah		2989425	mg/hari
P inf	Total fosfor pada influen		12	mg/l
P eff,load	Produksi fosfor pada efluen limbah	$(P \text{ inf,load}) - (P \text{ removal-potential})$	983007	mg/hari
P eff	Total fosfor pada efluen	$\frac{P \text{ eff,load}}{Q}$	0.5	mg/l
Supplementary Carbon Demand				
sCOD:NO ₃ -N factor	Rasio kebutuhan COD terlarut untuk penghilangan nitrat		4	
<u>sCOD Demand for BNR Processes</u>				

sCOD demand,NO ₃ -N,load	kebutuhan COD terlarut untuk penghilangan nitrat	$(\text{sCOD:NO}_3\text{-N factor}) \times (\text{NO}_3\text{-N anaerobik,load})$	345338386.2	mg sCOD/hari
sCOD demand,P,1 mg/l	sCOD Demand for EBPR to 1-mg/L P	$(P_{\text{inf}} - 1,0 \text{ mg/L}) \times (Q) \times (\text{sCOD/P factor})$	224098807	mg/hari
sCOD demand,P,0,5 mg/l	sCOD Demand for EBPR to 0.5-mg/L P	$(P_{\text{inf}} - 0,5 \text{ mg/L}) \times (Q) \times (\text{sCOD/P factor})$	234285117	mg/hari
sCOD demand, 1 mgP/l, total	Total sCOD Demand for BNR to 1-mg/L P	sCOD demand,NO ₃ -N,load + sCOD demand,P,1-mg/L	569437193	mg/hari
sCOD demand, 0,5 mgP/l, total	Total sCOD Demand for BNR to 0.5-mg/L P	sCOD demand,NO ₃ -N,load + sCOD demand,P,0,5-mg/L	579623503	mg/hari
<u>sCOD Loading and Supplemental sCOD Demand</u>				
sCOD prim,load	Produksi COD terlarut pada limbah		65	mg/hari
sCOD supp-load, 1 mgP/l, total	Supplemental sCOD for BNR to 1-mg/L P	sCOD demand,1-mgP/L,total - sCOD prim,load	569437128	mg/hari
sCOD supp-load, 0,5 mgP/l, total	Supplemental sCOD for BNR to 0.5-mg/L P	sCOD demand,0,5-mgP/L,total - sCOD prim,load	579623438	mg/hari
sCOD supp-conc, 1 mgP/l, total	Supplemental sCOD for BNR to 1-mg/L P	$\frac{\text{sCOD supp - load, 1 - mgP/L, total}}{Q \times 1000}$	280	mg/l
sCOD supp-conc, 0,5 mgP/l, total	Supplemental sCOD for BNR to 0.5-mg/L P	$\frac{\text{sCOD supp - load, 0,5 - mgP/L, total}}{Q \times 1000}$	285	mg/l

III.e Bak Sedimentasi Kedua

Tabel III. 5 Kriteria Desain Unit Bak Sedimentasi Kedua

Parameter	Besar Nilai Kriteria	Sumber
Overflow Rate (OR) (m ³ /m ² hari)	12 - 33	Metcalf & Eddy, 1991
Solid Loading (kg/m ² hari)	15 - 150	Qasim, 1985
Radius (m)	3 - 60	
Kedalaman Bak (m)	3	Lampiran II PerMen PUPR No.04 Tahun 2017

Data Perencanaan

Jumlah unit = 1 buah

$Q_p = 0,024 \text{ m}^3/\text{s} = 2.037,363 \text{ m}^3/\text{hari}$

$MLSS = 3000 \text{ mg/L} = 3 \text{ kg/m}^3$

Kedalaman bak = 3 m

Waktu detensi = 2 jam

Solid loading (SF) = 100 kg/m² hari

Perhitungan (Buku B – SPALD-T, 2018)

$$\begin{aligned} \text{a) Luas permukaan (A bak)} &= \frac{MLSS \times Q}{SF} \\ &= \frac{3 \text{ kg/m}^3 \times 2.037,363 \text{ m}^3/\text{hari}}{100 \text{ kg/m}^2 \text{ hari}} \\ &= 61,12 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) Diameter bak (Dbak)} &= \sqrt{\frac{4 \times \text{Luas permukaan}}{\pi}} \\ &= \sqrt{\frac{4 \times 61,12 \text{ m}^2}{3,14}} \\ &= 8,824 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) Overflow Rate (OFR)} &= \frac{Q_p}{A_{\text{bak}}} \\ &= \frac{2.037,363 \text{ m}^3/\text{hari}}{61,12 \text{ m}^2} \\ &= 33,33 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$\text{d) Volume bak} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times H$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 8,824^2 \text{ m} \times 3 \text{ m}$$

$$= 183,354 \text{ m}^3$$

e) Cek waktu detensi = $\frac{\text{Volume bak}}{Q_p} \times 24 \text{ jam}$

$$= \frac{183,354 \text{ m}^3}{2.037,262 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}} \times 24$$

$$= 2,16 \text{ jam}$$

III.f. Bak Klorinasi

Tabel III. 6 Kriteria Desain Unit Bak Desinfeksi

Parameter	Besar Nilai Kriteria
pH optimum	6 - 7
Dosis desinfeksi (mg/L)	2 - 8
Waktu kontak (menit)	15 - 45
Kadar klor dalam kaporit	70%
Berat jenis kaporit (ρ) (kg/L)	0.8 - 0.88

Sumber: Priyanka, 2012

Data Perencanaan

$$Q_p = 2.037,262 \text{ m}^3/\text{hari} = 84,89 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Dosis klor yang diberikan} = 2 \text{ mg/L} = 0,002 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Kadar klor} = 70\% = 0,7$$

$$\text{Waktu detensi (td)} = 30 \text{ menit} = 0,5 \text{ jam}$$

$$\text{Kedalaman bak} = 2,5 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman total} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Freeboard} = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Rasio Panjang : Lebar} = 2 : 1$$

Perhitungan (Priyanka, 2012)

a) Kebutuhan klor = $Q_p \times \text{dosis klor}$

$$= 2.037,262 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,002 \text{ kg/m}^3$$

$$= 4,075 \text{ kg/hari}$$

b) Kebutuhan klor dalam larutan = $\frac{\text{berat klor}}{\text{kadar klor}}$

$$= \frac{4,075 \text{ kg/hari}}{0,7}$$

$$= 5,821 \text{ kg/hari}$$

c) Dimensi bak desinfeksi

- Volume bak = $Q_p \times t_d$

$$= 84,89 \text{ m}^3/\text{jam} \times 0,5 \text{ jam}$$

$$= 42,44 \text{ m}^3$$
- Luas permukaan = $\frac{\text{volume bak}}{\text{kedalaman total}}$

$$= \frac{42,44 \text{ m}^3}{3}$$

$$= 14,148 \text{ m}^2$$
- Lebar = $\sqrt{\frac{\text{luas permukaan}}{\text{rasio panjang}}}$

$$= \sqrt{\frac{14,148 \text{ m}^2}{2}}$$

$$= 2,66 \text{ m}$$
- Panjang = $2 \times L$

$$= 2 \times 2,66 \text{ m}$$

$$= 5,32 \text{ m}$$
- Waktu kontak saat $Q_p = \frac{\text{volume bak}}{Q_p}$

$$= \frac{5,32 \text{ m} \times 2,66 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}}{84,89 \text{ m}^3/\text{jam}}$$

$$= 0,42 \text{ jam}$$

Lampiran IV. Detail Hasil Simulasi STOAT

Tabel IV. 1 Detail Hasil Simulasi Teknologi CAS Selama 48 Jam Pengolahan Pada Software STOAT

Elapsed time (h)	Flow (m³/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)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	83.33	4.03	57.82	57.82	19.47	7.03	3.96	3.96	26.50
2.00	83.33	5.88	46.69	46.69	19.07	7.43	3.96	3.96	26.50
3.00	83.33	7.11	21.75	21.75	16.68	9.82	3.96	3.96	26.50
4.00	83.33	7.75	7.84	7.84	10.23	16.27	3.96	3.96	26.50
5.00	83.33	8.58	4.90	4.90	3.60	22.90	3.96	3.96	26.50
6.00	83.33	9.57	4.67	4.67	0.79	25.71	3.96	3.96	26.50
7.00	83.33	10.31	4.83	4.83	0.24	26.26	3.96	3.96	26.50
8.00	83.33	10.90	5.00	5.00	0.18	26.32	3.96	3.96	26.50
9.00	83.33	11.42	5.16	5.16	0.18	26.32	3.96	3.96	26.50
10.00	83.33	11.92	5.31	5.31	0.18	26.32	3.96	3.96	26.50
11.00	83.33	12.35	5.43	5.43	0.19	26.31	3.96	3.96	26.50
12.00	83.33	12.83	5.57	5.57	0.19	26.31	3.96	3.96	26.50
13.00	83.33	13.80	5.83	5.83	0.20	26.30	3.96	3.96	26.50
14.00	83.33	14.63	6.06	6.06	0.20	26.30	3.96	3.96	26.50
15.00	83.33	15.35	6.26	6.26	0.20	26.30	3.96	3.96	26.50
16.00	83.33	16.00	6.45	6.45	0.21	26.29	3.96	3.96	26.50
17.00	83.33	16.66	6.64	6.64	0.21	26.29	3.96	3.96	26.50
18.00	83.33	17.27	6.83	6.83	0.22	26.28	3.96	3.96	26.50
19.00	83.33	17.86	7.03	7.03	0.22	26.28	3.96	3.96	26.50
20.00	83.33	18.43	7.23	7.23	0.22	26.28	3.96	3.96	26.50
21.00	83.33	18.98	7.43	7.43	0.23	26.27	3.96	3.96	26.50

Elapsed time (h)	Flow (m³/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)
22.00	83.33	19.51	7.62	7.62	0.23	26.27	3.96	3.96	26.50
23.00	83.33	20.04	7.80	7.80	0.24	26.26	3.96	3.96	26.50
24.00	83.33	20.55	7.97	7.97	0.24	26.26	3.96	3.96	26.50
25.00	83.33	21.06	8.14	8.14	0.24	26.26	3.96	3.96	26.50
26.00	83.33	21.57	8.33	8.33	0.25	26.25	3.96	3.96	26.50
27.00	83.33	22.07	8.51	8.51	0.25	26.25	3.96	3.96	26.50
28.00	83.33	22.56	8.70	8.70	0.26	26.24	3.96	3.96	26.50
29.00	83.33	23.05	8.88	8.88	0.26	26.24	3.96	3.96	26.50
30.00	83.33	23.54	9.06	9.06	0.26	26.24	3.96	3.96	26.50
31.00	83.33	24.08	9.25	9.25	0.27	26.23	3.96	3.96	26.50
32.00	83.33	24.64	9.45	9.45	0.27	26.23	3.96	3.96	26.50
33.00	83.33	25.18	9.65	9.65	0.28	26.22	3.96	3.96	26.50
34.00	83.33	25.72	9.85	9.85	0.28	26.22	3.96	3.96	26.50
35.00	83.33	26.24	10.05	10.05	0.29	26.21	3.96	3.96	26.50
36.00	83.33	26.76	10.25	10.25	0.29	26.21	3.96	3.96	26.50
37.00	83.33	27.28	10.44	10.44	0.30	26.20	3.96	3.96	26.50
38.00	83.33	27.78	10.63	10.63	0.30	26.20	3.96	3.96	26.50
39.00	83.33	28.28	10.82	10.82	0.31	26.19	3.96	3.96	26.50
40.00	83.33	28.78	11.01	11.01	0.31	26.19	3.96	3.96	26.50
41.00	83.33	29.89	11.39	11.39	0.32	26.18	3.96	3.96	26.50
42.00	83.33	31.22	11.84	11.84	0.32	26.18	3.96	3.96	26.50
43.00	83.33	32.44	12.26	12.26	0.33	26.17	3.96	3.96	26.50
44.00	83.33	33.56	12.65	12.65	0.33	26.17	3.96	3.96	26.50
45.00	83.33	34.58	13.01	13.01	0.34	26.16	3.96	3.96	26.50
46.00	83.33	35.52	13.35	13.35	0.34	26.16	3.96	3.96	26.50
47.00	83.33	36.38	13.66	13.66	0.35	26.15	3.96	3.96	26.50

Tabel IV. 2 Detail Hasil Simulasi Teknologi MUCT Selama 48 Jam Pengolahan Pada Software STOAT

Elapsed time (h)	Flow (m ³ /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)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	83.33	4.26	55.93	55.93	19.47	6.57	3.92	3.92	26.03
2.00	83.33	5.74	36.96	36.96	19.11	3.94	3.45	3.45	23.04
3.00	83.33	6.21	14.79	14.79	17.25	3.04	2.71	2.71	20.30
4.00	83.33	6.28	5.51	5.51	13.38	4.94	2.30	2.30	18.32
5.00	83.33	6.30	3.20	3.20	9.05	6.95	2.13	2.13	16.00
6.00	83.33	6.30	2.57	2.57	5.16	8.26	2.04	2.04	13.42
7.00	83.33	6.31	2.32	2.32	2.14	8.79	1.97	1.97	10.93
8.00	83.33	6.32	2.23	2.23	0.69	8.11	1.91	1.91	8.79
9.00	83.33	6.32	2.29	2.29	0.32	6.94	1.84	1.84	7.25
10.00	83.33	6.33	2.41	2.41	0.25	6.05	1.76	1.76	6.30
11.00	83.33	6.34	2.51	2.51	0.23	5.51	1.68	1.68	5.74
12.00	83.33	6.35	2.60	2.60	0.22	5.16	1.60	1.60	5.38
13.00	83.33	6.35	2.66	2.66	0.21	4.92	1.53	1.53	5.13
14.00	83.33	6.36	2.71	2.71	0.20	4.75	1.46	1.46	4.95
15.00	83.33	6.37	2.76	2.76	0.19	4.62	1.39	1.39	4.81
16.00	83.33	6.38	2.80	2.80	0.19	4.52	1.33	1.33	4.71
17.00	83.33	6.39	2.83	2.83	0.19	4.44	1.27	1.27	4.63
18.00	83.33	6.40	2.86	2.86	0.19	4.38	1.22	1.22	4.56
19.00	83.33	6.41	2.89	2.89	0.18	4.33	1.18	1.18	4.51
20.00	83.33	6.41	2.91	2.91	0.18	4.29	1.13	1.13	4.47
21.00	83.33	6.42	2.94	2.94	0.18	4.26	1.09	1.09	4.44
22.00	83.33	6.43	2.96	2.96	0.18	4.24	1.06	1.06	4.42
23.00	83.33	6.44	2.98	2.98	0.18	4.22	1.03	1.03	4.40

Elapsed time (h)	Flow (m³/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)
24.00	83.33	6.45	2.99	2.99	0.18	4.21	1.00	1.00	4.39
25.00	83.33	6.46	3.01	3.01	0.18	4.20	0.97	0.97	4.38
26.00	83.33	6.46	3.02	3.02	0.18	4.19	0.95	0.95	4.37
27.00	83.33	6.47	3.04	3.04	0.18	4.18	0.93	0.93	4.36
28.00	83.33	6.48	3.05	3.05	0.18	4.18	0.91	0.91	4.36
29.00	83.33	6.49	3.07	3.07	0.18	4.18	0.89	0.89	4.36
30.00	83.33	6.50	3.08	3.08	0.18	4.17	0.87	0.87	4.35
31.00	83.33	6.51	3.09	3.09	0.18	4.17	0.86	0.86	4.35
32.00	83.33	6.52	3.10	3.10	0.18	4.17	0.85	0.85	4.35
33.00	83.33	6.52	3.11	3.11	0.18	4.17	0.84	0.84	4.35
34.00	83.33	6.53	3.13	3.13	0.18	4.17	0.83	0.83	4.36
35.00	83.33	6.54	3.14	3.14	0.18	4.17	0.82	0.82	4.36
36.00	83.33	6.55	3.15	3.15	0.18	4.18	0.81	0.81	4.36
37.00	83.33	6.56	3.16	3.16	0.18	4.18	0.80	0.80	4.36
38.00	83.33	6.57	3.17	3.17	0.18	4.18	0.80	0.80	4.36
39.00	83.33	6.57	3.18	3.18	0.18	4.18	0.79	0.79	4.36
40.00	83.33	6.58	3.19	3.19	0.18	4.18	0.79	0.79	4.37
41.00	83.33	6.59	3.20	3.20	0.19	4.18	0.78	0.78	4.37
42.00	83.33	6.60	3.21	3.21	0.19	4.19	0.78	0.78	4.37
43.00	83.33	6.61	3.22	3.22	0.19	4.19	0.78	0.78	4.37
44.00	83.33	6.61	3.23	3.23	0.19	4.19	0.77	0.77	4.38
45.00	83.33	6.62	3.24	3.24	0.19	4.19	0.77	0.77	4.38
46.00	83.33	6.63	3.25	3.25	0.19	4.19	0.77	0.77	4.38
47.00	83.33	6.64	3.26	3.26	0.19	4.19	0.77	0.77	4.38