

TUGAS AKHIR

**OPTIMASI DURASI SIKLUS DAN AERASI PADA IPAL
SEQUENCING BATCH REACTOR (SBR) MELALUI SIMULASI
MODEL MENGGUNAKAN SOFTWARE GPS-X**

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



**IRMAX SYOCHWAN
17513109**

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

2021

TUGAS AKHIR

OPTIMASI DURASI SIKLUS DAN AERASI PADA IPAL *SEQUENCING BATCH REACTOR* (SBR) MELALUI SIMULASI MODEL MENGGUNAKAN *SOFTWARE GPS-X*

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



Disusun Oleh:

Irmawati Syochwan
17513109


Disetujui,

Dosen Pembimbing I :

Dosen Pembimbing II :


Dr. Eng. Awaruddin Nurhidayah,
S.T., M.Eng

Tanggal:


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

Tanggal:

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII:



Eko Siswono, S.T., M.Sc.ES, Ph.D
Tanggal: 08 Juli 2021

HALAMAN PENGESAHAN

**OPTIMASI DURASI SIKLUS DAN AERASI PADA
IPALSEQUENCING BATCH REACTOR MELALUI
SIMULASIMODEL MENGGUNAKAN SOFTWARE
GPS-X**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

**Hari : Senin
Tanggal : 12 April 2021**

Disusun Oleh: IRMAX SYOCHWAN

17513109

Tim Penguji :

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



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



Dr. Andik Yulianto, S.T., M.T.



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 tanggung jawab 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, 12 April 2021

Yang membuat pernyataan,



Irmawati Syochwan

NIM: 17513109

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat serta kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas akhir ini yang berjudul Optimasi Durasi Siklus dan Aerasi pada IPAL *Sequencing Batch Reactor* (SBR) Menggunakan *Software* GPS-X yang dilaksanakan sejak September 2020 Tugas ini disusun untuk memenuhi syarat penyelesaian program sarjana pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyelesaian tugas akhir ini tentu tidak lepas dari bimbingan, bantuan, dan dukungan dari beberapa pihak. Maka dari itu, pada kesempatan ini penulis akan menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

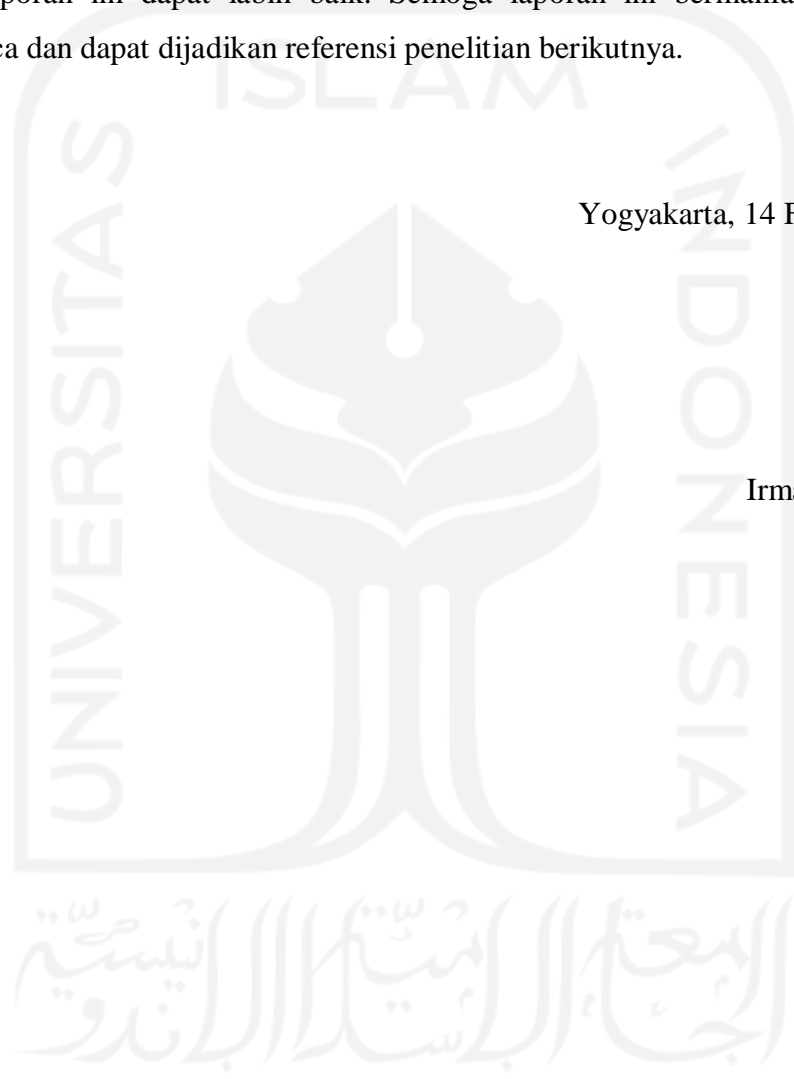
1. Allah *subhananu wa ta'ala* berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
2. Bapak Irwan S. dan ibu Makhdalena selaku orang tua penulis yang selalu mendoakan kesehatan, kelancaran dan selalu memberikan dukungan moril maupun materi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing I yang selalu sabar dalam memberikan bimbingan dan arahan mulai dari penelitian hingga penyusunan laporan tugas akhir ini.
4. Ibu Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II yang selalu memberikan arahan dan masukan pada penelitian hingga penyusunan laporan tugas akhir.
5. Bapak Dr. Andik Yulianto, S.T., M.T selaku dosen penguji yang telah memberikan arahan dan masukan pada penelitian sampai dengan penyusunan laporan akhir.

6. Teman-teman satu tingkat dalam Program Studi Teknik Lingkungan angkatan 2017 yang selalu memberikan dukungan selama peneitian sampai penulisan tugas akhir.
7. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan tugas akhir jauh dari kata sempurna. Sehingga saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan penulis agar laporan ini dapat lebih baik. Semoga laporan ini bermanfaat bagi para pembaca dan dapat dijadikan referensi penelitian berikutnya.

Yogyakarta, 14 Februari 2020

Irmx Syochwan



ABSTRAK

Sequencing batch reactor (SBR) merupakan suatu unit instalasi pengolahan air limbah yang menggunakan proses lumpur aktif dengan metode tangki (batch). Pada pengolahannya SBR memiliki lima fase dalam satu siklus operasi fase fill, react, settle, draw dan desludge, setiap fase memiliki durasi yang berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perbandingan enam kinerja opsi siklus yang berbeda-beda durasi serta kondisinya pada fase fill dan react, dari hasil tersebut dilakukan optimalisasi durasi aerasi pada proses reaksi untuk mengurangi pengeluaran energi listrik.

Perbandingan kinerja opsi siklus dilakukan, melalui simulasi model menggunakan bantuan software GPS-X 8.0. Metode penentuan kinerja pengolahan pada penelitian ini didasarkan pada nilai efluen siklus yang tidak melebihi baku mutu dari Permen LHK No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Limbah Domestik dan memperhatikan total durasi aerasi pada siklus.

Dari hasil simulasi model didapatkan opsi siklus 5 dengan efluen hasil pengolahan memenuhi baku mutu dan memiliki total durasi aerasi tersingkat. Opsi siklus 5 memiliki durasi aerasi 165 menit, kemudian dioptimalisasi sehingga durasi aerasinya menjadi 85 menit, hal tersebut berdampak pada berkurangnya biaya pengeluaran listrik untuk blower aerasi senilai 48% meskipun begitu efluen hasil pengolahan tetap memenuhi baku mutu.

Kata Kunci :Sequencing batch reactor, Durasi siklus SBR, Software GPS-X, Simulasi Model IPAL.

ABSTRACT

The sequencing batch reactor (SBR) is a wastewater treatment plant that uses an activated sludge process using the batch method. In its processing, SBR has five phases in one operation cycle, the fill, react, settle, draw and desludge phases, each phase has a different duration. This study aims to compare the performance of six cycle options with different duration and conditions in the fill and react phases. From these results, the optimization of aeration duration in the reaction process is carried out to reduce the expenditure of electrical energy.

Performance comparisons of cycle options were carried out through model simulation using GPS-X 8.0 software. The method of determining processing performance in this study is based on the cycle effluent value that does not exceed the quality standard of the Permen LHK No. 68 of 2016 about Domestic Waste Quality Standards and paying attention to the total duration of aeration in the cycle.

From the model simulation results, it is obtained cycle option 5 with the effluent from the processing results that meets the quality standard and has the shortest total aeration duration. Option 5 has an aeration duration of 165 minutes, then it is optimized so that the aeration duration becomes 85 minutes, this has an impact on reducing the cost of electricity expenditure for the aeration blower by 48% even though the effluent from the treatment still meets quality standards.

Keywords: Sequencing batch reactor, SBR cycle duration Optimization, Software GPS-X, Simulation Model WWTP.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
NOTASI DAN SINGKATAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Pendahuluan	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan	3
1.4. Manfaat	4
1.5. Ruang Lingkup	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL).....	6
2.2 <i>Sequencing Batch Reactor</i> (SBR)	6
2.3 Siklus pada Operasional <i>Sequencing Batch Reactor</i>	7
2.4 Software pemodelan dan simulasi.....	9
2.5 Penelitian Terdahulu	9
BAB III METODE PENELITIAN	13
3.1 Tahapan menyusun Model.....	13
3.2 Data Input	14
3.3 Skenario Simulasi.....	19
3.4 Penentuan Pola Siklus dan Aerasi Optimal	21

BAB IV	23
HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Skenario Pada Simulasi Model IPAL.....	23
4.2 Kalibrasi Data dan Validasi Model.....	25
4.3 Tahapan Simulasi Model Unit SBR menggunakan <i>Software GPS-X</i>	27
4.4 Proses Pada Simulasi IPAL	29
4.5 Penentuan Pola Durasi Siklus Optimum pada SBR.....	30
4.6 Optimasi Durasi Aerasi pada Siklus Terpilih	35
4.7 Simulasi Performa Siklus dan Durasi Aerasi Optimum pada Unit SBR.....	40
Dengan begitu siklus opsi 5 yang memiliki durasi aerasi total 85 menit memberikan performa yang tidak optimal untuk menyisihkan parameter ammonia jika konsentrasi beban influent bertambah 1.5x atau 1.7x lebih besar dari konsentrasi beban dasar.....	41
4.8 Perbandingan Biaya Operasional pada Durasi Siklus Unit SBR.....	41
BAB V.....	46
KESIMPULAN DAN SARAN	46
5.1 Kesimpulan.....	46
5.2 Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA.....	46
LAMPIRAN	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Rangkuman Penelitian Terdahulu.	9
Tabel 3. 1 Karakteristik influen air limbah	14
Tabel 3. 2 Tabel Nilai yang digunakan pada Input Karakteristik Influen.....	16
Tabel 3. 3 Input Parameter Unit <i>Equalization Tank</i>	16
Tabel 3. 4 Input Parameter Unit <i>Grit Chamber</i>	17
Tabel 3. 5 Input Parameter Unit <i>Sequencing Batch Reactor</i>	17
Tabel 3. 6 Input Parameter Unit <i>Disinfection</i>	17
Tabel 3. 7 Input Parameter Unit <i>Thickener</i>	18
Tabel 3. 8 Input Parameter Unit <i>Digester</i>	18
Tabel 3. 9 Input Parameter Unit <i>Dewatering</i>	18
Tabel 3. 10 Skenario 1 (Durasi pada Siklus).....	19
Tabel 3. 11 Skenario 2 (Optimalisasi Durasi Aerasi pada Fase Reaksi)	20
Tabel 3. 12 Skenario 3 (Peningkatan Konsentrasi Influen 1.5x dan 1.7x)	21
Tabel 3. 13 Baku Mutu Limbah Domestik.....	22
Tabel 4. 1 Nilai Parameter pada User Input yang disesuaikan.....	26
Tabel 4. 2 Stop Time yang digunakan pada Total Durasi pada Siklus	30
Tabel 4. 3 Hasil Perbandingan Efluen pada Opsi Siklus SBR	31
Tabel 4. 4 Perbandingan Efluen pada Pengurangan Durasi Aerasi Opsi Satu	36
Tabel 4. 5 Perbandingan Efluen pada Pengurangan Durasi Aerasi Opsi Tiga.....	37
Tabel 4. 6 Perbandingan Efluen pada Pengurangan Durasi Aerasi Opsi Lima.....	38
Tabel 4. 7 Perbandingan Efluen pada Pengurangan Durasi Aerasi Opsi Lima.....	40
Tabel 4. 8 Spesifikasi Blower udara yang Terdapat pada GPS-X.....	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tahapan dalam siklus operasi SBR	7
Gambar 3. 1 Contoh Durasi pada Siklus SBR.....	13
Gambar 3. 2 <i>Layout</i> unit-unit pada model IPAL dalam GPS-X.....	14
Gambar 3. 3 Contoh Durasi pada Siklus SBR.....	22
Gambar 4. 1 Proses Trial and Error pada User Input.....	26
Gambar 4. 2 Tahapan Simulasi Model Unit <i>Sequencing Batch Reactor</i>	28
Gambar 4. 3 Memindahkan <i>Input Parameter Cycle Settings</i> ke bagian <i>Tab Control</i>	28
Gambar 4. 4 Tampilan pada Mode Simulasi GPS-X 8.0.1	29
Gambar 4. 5 <i>Library</i> pada <i>Menu Bar</i>	29
Gambar 4. 14 Perbandingan Biaya Listrik Sebelum dan Sesudah Optimasi	44

NOTASI DAN SINGKATAN

IPAL	= Instalasi Pengolahan Air Limbah
SBR	= Sequencing Batch Reactor
BMAL	= Baku Mutu Air Limbah
TSS	= Total Suspended Solids
SS	= Suspended Solids
VSS	= Volatile Suspended Solids
COD	= Total Chemical Oxygen Demand
BOD	= Total Biochemical Oxygen Demand
TKN	= Total Kjedahl Nitrogen
TN	= Total Nitrogen
TP	= Total Phosphorus



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Pendahuluan

Dalam proses di instalasi pengolahan air limbah domestik maupun industri dibutuhkan pengoperasian yang tepat untuk mencapai efisiensi pengolahan yang baik, karena kinerja proses pengolahan dipengaruhi oleh sistem operasional. Penghilangan senyawa biogenik yang optimal merupakan salah satu hal penting untuk dilakukan dari sudut pandang lingkungan, dan hal itu membutuhkan pengoperasian yang tepat dari perangkat di instalasi pengolahan air limbah (Łagód et al., 2008). Dalam mengolah air limbah terdapat perbedaan antara sistem aliran kontinu dan reaktor batch. Reaktor batch adalah proses yang dilakukan dalam satu ruang atau tangki, yang secara bersamaan berfungsi sebagai tangki reaksi dan sebagai tangki pengendapan sekunder.

Salah satu teknologi yang menggunakan metode batch adalah *sequencing batch reactor* (SBR). SBR adalah metode pengolahan air limbah yang jauh lebih mudah dioperasikan di industri dengan luas lahan yang jauh lebih kecil (hanya membutuhkan satu reactor) dibandingkan dengan instalasi pengolahan air limbah tradisional, serta mampu digunakan untuk mengolah air limbah dalam jumlah yang banyak. SBR merupakan suatu proses pengolahan yang bersifat siklus dan setiap siklusnya terdiri atas fase pengisian (*fill*), pereaksian (*react*), pengendapan (*settle*), pemisahan, pembuangan, dan stabilisasi (*idle*) (Nugroho, 2004). Keuntungan utama dari sistem SBR adalah optimalisasi energi melalui kontrol aktivitas metabolik, lahan yang dibutuhkan kecil, dan kemampuan sistem SBR untuk menghilangkan sebagian besar bulking micro organisme dengan cara mengontrol siklus operasi SBR (Coelho et al., 2000) dengan kata lain dengan mengontrol siklus operasi SBR maka akan meningkatkan kinerja atau efektifitas proses operasi serta mendapatkan hasil yang optimal.

Saat ini terdapat perangkat lunak khusus yang dapat melakukan pemodelan terhadap sistem pengolahan air limbah dimana pada perangkat lunak tersebut dapat diprogram untuk menguji beberapa solusi sebelum diterapkan, sehingga

dapat mencari opsi yang terbaik dan perangkat lunak ini juga mampu untuk memverifikasi pengoperasian sistem yang benar tanpa perlu membangun pabrik percontohan. Dengan begitu penerapan dari simulasi perangkat lunak ini akan memberikan hasil yang paling menguntungkan dengan pengeluaran finansial yang rendah. Perangkat lunak pemodelan komputer saat ini merupakan faktor kunci untuk perencanaan teknologi di IPAL. Besar kemungkinan bahwa pengoperasian instalasi pengolahan air limbah pada masa yang akan datang akan banyak bergantung pada perangkat lunak tersebut.

Perangkat lunak khusus yang dapat melakukan pemodelan terhadap sistem pengolahan air limbah sudah tersedia cukup banyak contohnya seperti GPS-X, SIMBA, STOAT, BioWin dan WEST. GPS-X merupakan perangkat lunak simulasi khusus, yang dikembangkan oleh *Hydromantis Environmental Software Solutions* atau Perangkat Lunak Lingkungan Hydromantis yang bertujuan untuk melakukan simulasi untuk proses pengolahan air limbah kota maupun industri, dengan fleksibilitas penggunaan perangkat yang berbeda. Perangkat lunak ini, tergantung kebutuhan pengguna, juga memungkinkan untuk menggunakan berbagai model proses, termasuk bagian mekanis pabrik, komponen biologis dengan bioreaktor aliran dan batch yang berkelanjutan, serta sistem pembuangan lumpur (Lagod et al., 2019).

Program atau *software* yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah GPS-X (versi 8.0). GPS-X menggunakan *advanced graphical user interface* atau grafis antarmuka pengguna yang maju untuk memfasilitasi pemodelan dan simulasi dinamis. GPS-X juga menggunakan proses pemodelan, simulasi teknologi yang terbaru, dan sejumlah fitur yang mempermudah konstruksi model, simulasi dan interpretasi hasil pemodelan (Kader, 2009).

Penelitian ini bertujuan mensimulasikan pengoperasian *sequencing batch reactor* agar mengetahui parameter operasional optimal pada model tersebut. parameter operasional yang diuji pada penelitian ini adalah durasi siklus dan durasi aerasi melalui simulasi menggunakan *software* GPS-X.

1.2. Rumusan Masalah

Selama ini perencanaan instalasi pengolahan air limbah di Indonesia masih dilakukan secara manual melalui perhitungan dan bantuan *software* seperti Ms. excel, kurangnya penggunaan teknologi atau *software* yang dapat membantu kita dalam memahami atau merencanakan instalasi pengolahan air limbah. Saat ini sudah terdapat *software* yang dapat mempermudah kita dalam membantu perencanaan, pemodelan, control, optimasi dan manajemen yaitu GPS-X. GPS-X adalah simulator instalasi pengolahan air limbah dinamis pertama yang dirilis secara komersial dan dapat kita gunakan untuk mempermudah kita untuk memahami instalasi pengolahan air limbah.

1. Bagaimana menyusun dan melakukan simulasi model instalasi pengolahan air limbah dengan teknologi *sequencing batch reactor* menggunakan *software* GPS-X versi 8.0.1?
2. Bagaimana cara mengoptimalkan durasi aerasi pada siklus operasional *sequencing batch reactor* melalui simulasi model menggunakan *software* GPS-X versi 8.0.1?
3. Bagaimana durasi siklus dan durasi aerasi yang optimal pada tahapan pengolahan dalam unit *sequencing batch reactor* melalui simulasi model menggunakan *software* GPS-X versi 8.0.1?
4. Bagaimana hasil perbandingan performa pengolahan dari berbagai durasi pada siklus dan aerasi pada unit *sequencing batch reactor* melalui simulasi model menggunakan *software* GPS-X versi 8.0.1?

1.3. Tujuan

Tujuan dari peneliti ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui cara menyusun model IPAL dan melakukan simulasi pengolahan air limbah pada IPAL menggunakan *software* GPS-X 8.0.1.
2. Menentukan pola siklus optimum pada unit *sequencing batch reactor* melalui model simulasi menggunakan *software* GPS-X versi 8.0.1

3. Menentukan durasi aerasi optimum pada unit *sequencing batch reactor* melalui model simulasi menggunakan software GPS-X versi 8.0.1
4. Membandingkan performa SBR dengan durasi aerasi optimum pada berbagai skenario melalui simulasi model menggunakan software GPS-X 8.0.1

1.4. Manfaat

Adapun manfaat lain yang dapat diperoleh dari penelitian ini untuk ilmu pengetahuan, masyarakat dan pemerintah adalah sebagai berikut:

1. Bagi Ilmu pengetahuan
 - Hasil akhir dari penelitian ini dapat menjadi referensi pembelajaran. Khususnya pada mata kuliah Pengolahan Limbah Industri mengenai penggunaan *software* GPS-X versi 8.0.1
 - Dapat menjadi referensi tambahan untuk mengetahui durasi siklus dan aerasi yang optimal pada simulasi model *sequencing batch reactor* menggunakan *software* GPS-X versi 8.0.1
2. Bagi Masyarakat
 - Dapat digunakan sebagai referensi tambahan mengenai *software* GPS-X versi 8.0.1 dalam hal untuk mengetahui durasi siklus dan aerasi yang optimal untuk operasional unit *sequencing batch reactor*.
3. Bagi Pemerintah
 - Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat menjadi referensi tambahan untuk mengetahui durasi siklus dan aerasi yang optimal pada unit *sequencing batch reactor* dan sebagai referensi tambahan mengenai *software* GPS-X versi 8.0.1 dalam hal durasi siklus dan aerasi yang optimal untuk operasional unit *sequencing batch reactor*.

1.5. Ruang Lingkup

1. Simulasi model dilakukan menggunakan dengan *software* GPS-X (versi 8.0.1).
2. Unit *sequencing batch reactor* pada simulasi model menggunakan tipe *simple sequencing batch reactor*

3. Karakteristik influen air limbah domestik didapatkan dari data sekunder yaitu *medium strenght* berdasarkan buku *Wastewater Engineering; Treatment and Reuse (Fourth Edition)* tahun 2003 ciptaan Metcalf & Eddy.
4. Baku mutu air limbah domestik mengacu pada Permen LHK No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
5. Data pelengkap lainnya diperoleh melalui buku, jurnal, situs resmi, dan sebagainya untuk membantu penyusunan laporan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)

Air limbah berkali-kali menimbulkan permasalahan karena penanganan yang tidak benar dan tepat. Tidak jarang air limbah dibuang langsung ke air sungai sehingga menciptakan pencemaran lingkungan yang memiliki dampak negatif bagi masyarakat maupun lingkungan itu sendiri. Salah satu upaya untuk mengendalikan pencemarannya adalah dengan membangun instalasi pengolahan air limbah (IPAL) yang merupakan kunci dalam memelihara kelestarian lingkungan karena IPAL dibuat untuk menyisihkan polutan yang berbahaya bagi lingkungan (JUKNIS Restorasi Kualitas Air Sungai, 2017).

Tujuan utama pengolahan air limbah adalah untuk mengurangi atau menghilangkan kandungan bahan pencemar yang terdapat dalam air terutama senyawa organik, padatan tersuspensi, senyawa organik dan mikroba patogen yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme yang terdapat di alam. Pada umumnya untuk dapat mengolah air limbah yang mengandung senyawa organik, menggunakan teknologi pengolahan air limbah secara biologis atau gabungan antara proses kimia-fisika. Proses secara biologis tersebut dapat dilakukan pada kondisi aerobik (dengan udara), kondisi anaerobik (tanpa udara) atau dengan kombinasi keduanya. Dengan kombinasi proses anaerob dan aerob tersebut selain dapat menurunkan zat organik (BOD, COD), ammonia, padatan tersuspensi (SS), Phospat dan lainnya dapat juga turun secara signifikan (Wulandari, 2014).

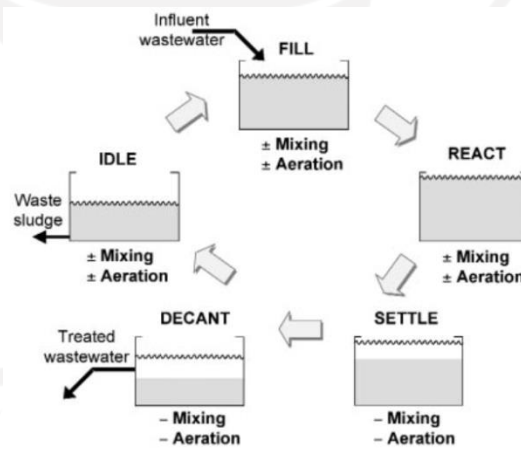
2.2 Sequencing Batch Reactor (SBR)

Salah satu teknologi pengolahan air limbah tertua adalah *sequencing batch reactor* (SBR). Teknologi SBR konvensional adalah proses pengolahan yang berdasarkan reaktor pengolahan lumpur aktif tunggal. Pada masa lalu pengembangan teknologi ini dihentikan karena penerapan teknologi pengolahan

air limbah lebih berfokus kepada sistem pengolahan air dengan sistem input yang terus menerus. Saat ini SBR sering diusulkan untuk mengolah air limbah industri dalam skala kecil. Dibandingkan dengan proses berkelanjutan, SBR dikenal sebagai operasi proses yang lebih stabil, tetapi membutuhkan tingkat kontrol dan otomatisasi proses yang lebih tinggi. Sistem kontrol komputer terbaru juga dapat mengimplementasikan algoritma yang lebih maju, yang berkontribusi pada operasi SBR yang optimal (Brenner, 1997).

2.3 Siklus pada Operasional *Sequencing Batch Reactor*

Dalam pengolahan air limbah menggunakan SBR, terdapat lima tahap satu siklusnya, yaitu tahap *fill*, tahap *react* (aeration), tahap *settle* (*sedimentation/clarification*), tahap *decant/draw* dan tahap *idle* (Metcalf dan Eddy, 2003). Skema tahapannya dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut.



Gambar 2. 1 Tahapan dalam siklus operasi SBR

Sumber: *University of Florida TREEO Center's Sequencing Batch Reactor Operations and Troubleshooting Manual*

1. *Fill* (Pengisian)

Pada tahap pengisian ini, bak reaktor menerima air limbah yang masuk sebagai influen. Di dalam air limbah tersebut terkandung makanan atau

substrat yang dibutuhkan oleh mikroorganisme di dalam lumpur aktif, sehingga akan menciptakan kondisi yang ideal untuk terjadinya reaksi biokimia.

2. *React* (Reaksi)

Pada tahap ini tidak ada air limbah influen yang masuk ke dalam reaktor lagi, sehingga tidak ada penambahan volume dan beban organik (*organic loadings*) ke dalam reaktor. Proses pengadukan dan aerasi tetap berjalan selama tahap ini yang akan menyebabkan laju penyisihan zat organik meningkat secara pesat.

3. *Settle* (Pengendapan)

Pada tahap ini juga tidak ada debit air limbah yang masuk ke dalam reaktor. Selain itu juga tidak dilakukan pengadukan dan aerasi, selama tahap ini lumpur aktif dibiarkan untuk mengendap dalam kondisi tenang.

4. *Decant/draw* (Dekantasi/Pengaliran Efluen Keluar)

Setelah tahap pengendapan selesai, sinyal akan dikirim ke *decanter* sehingga *valve* untuk *effluent-discharge* (pengaliran efluen) dibuka. Pada tahap ini dilakukan penyisihan efluen supernatan dengan menggunakan *decanter*.

5. *Idle* (Pembuangan Lumpur)

Pada tahap ini, dilakukan pembuangan lumpur aktif yang berada pada bagian bawah SBR dengan jumlah volume yang sedikit.

(NEIWPPC, 2005).

2.4 Software pemodelan dan simulasi

Model adalah representasi yang disederhanakan dari apa yang terjadi dalam kenyataan. Ini didefinisikan oleh serangkaian persamaan dan prosedur matematika, yang dibentuk oleh variabel dan parameter berbeda yang bergantung pada waktu. Model memungkinkan mempelajari dan menganalisis pertanyaan teknik dalam periode waktu yang lebih singkat, mengurangi biaya yang terkait dengan analisis laboratorium. Dalam IPAL, model dapat digunakan untuk mengevaluasi respons sistem terhadap berbagai gangguan, sehingga memungkinkan penerapan strategi yang menjamin kinerja yang lebih baik. Mereka juga berguna untuk optimasi dan kontrol proses, misalnya untuk mengevaluasi beberapa skenario yang mungkin mengarah pada operasi yang lebih baik dari IPAL yang ada dan alternatif desain untuk instalasi IPAL baru melalui simulasi. Dalam hal ini, pemodelan dapat secara substansial mengurangi waktu yang dikeluarkan, karena berbagai opsi dapat dievaluasi sebelum suatu IPAL dibangun (Gernaey, 2004).

Di antara perangkat lunak pemodelan komersial yang tersedia, simulator GPS-X (Hydromantis Inc Kanada) adalah salah satu perangkat lunak pemodelan yang populer. Simulator GPS-X berisi model lumpur aktif IWA (ASM1, ASM2D dan ASM3) dan model Hydromantis (Mantis1, Mantis2 dan Mantis3) (Hydromantis, 2017).

2.5 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 1 Rangkuman Penelitian Terdahulu.

No.	Software	Model	Unit	Skenario	Referensi
1	GPS-X	Mantis	SBR	Pengaruh dua mode aerasi yang berbeda. Tingkat oksigen	Łagód, et al., 2019

				konstan 2.0 mg / L, dan konsentrasi oksigen yang bervariasi.	
2	GPS-X	Mantis	CAS, dan SBR	Perbandingan performa dan evaluasi biaya antara Conventional activated sludge + Conventional activated sludge dengan <i>Sequence Batch Reactor</i> + <i>Conventional activated sludge</i>	Jafarinejad, S., 201 9
3	GPS-X	Mantis	SBR	Mengembangkan opsi untuk mengoptimalkan dan memaksimalkan kapasitas pengolahan SBR melebihi kapasitas rancangan yang ada dengan menggunakan prinsip "iSBR".	Andrew Shaw, et al., 2009.
4	GPS-X	Mantis	SBR	Pengaruh waktu retensi lumpur dan pola aerasi pada kinerja aerasi	E. F. Latif, et al., 2020

				diperpanjang siklus intermiten Lima proses waktu retensi lumpur yang berbeda yaitu 10, 15, 20, 25 dan 30 hari	
5	GPS-X	ASM1	SBR	Simulasi pada 6 skenario yang berbeda untuk mengetahui performa dari variasi durasi pada fase <i>fill</i> , <i>react</i> , dan <i>settle</i> dalam waktu siklus SBR	Mahmoud S. Nasr. 2011

Berbagai penulis menggunakan simulasi model untuk mempelajari teknologi lumpur aktif dan SBR pada instalasi pengolahan air limbah. Seperti Hvala et al. (2017) yang menggunakan *software* GPS-X untuk meningkatkan performa unit SBR. Serupa dengan Filali-Meknassi et al. (2004) yang menggunakan simulasi GPS-X untuk mensimulasikan unit SBR dengan influen yang berasal dari rumah jagal, mereka melakukan berbagai strategi aerasi, *sludge retention time* (SRT) dan *hydraulic retention time* (HRT).

Penggunaan *Software* GPS-X sudah dapat digunakan untuk melakukan simulasi model dengan beragam skenario untuk mengetahui pengaruhnya pada kinerja pengolahan seperti perbandingan dua mode aerasi yang berbeda yang pernah ditulis oleh Łagód et al. pada tahun 2019. Selain itu peneliti lain melakukan simulasi terhadap enam skenario yang berbeda untuk mengetahui performa dari variasi durasi pada fase *fill*, *react*, dan *settle* dalam waktu siklus hasil penelitian Nasr et al. tahun 2011. Lalu pada penelitian ini akan dilakukan

simulasi dengan skenario-skenario yang berbeda untuk mengetahui kinerja hasil pengolahan dari setiap skenarionya.

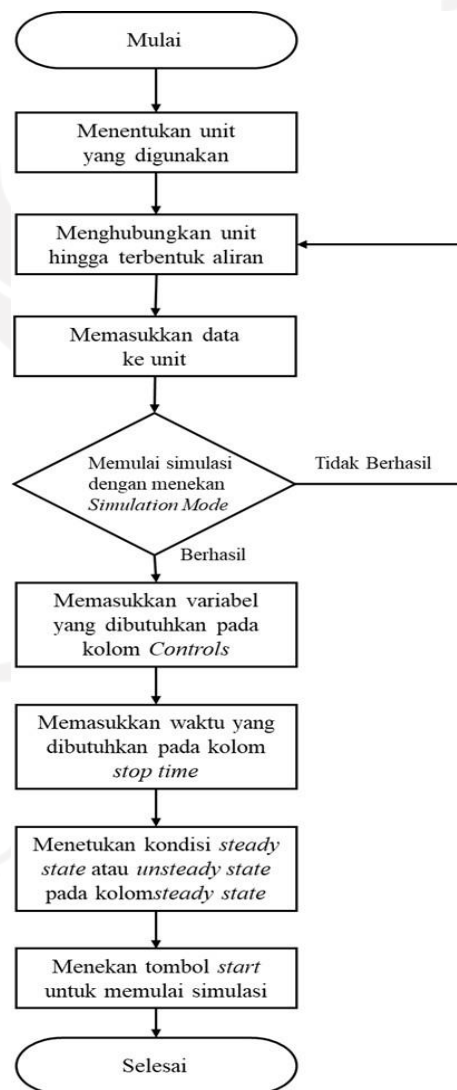


BAB III

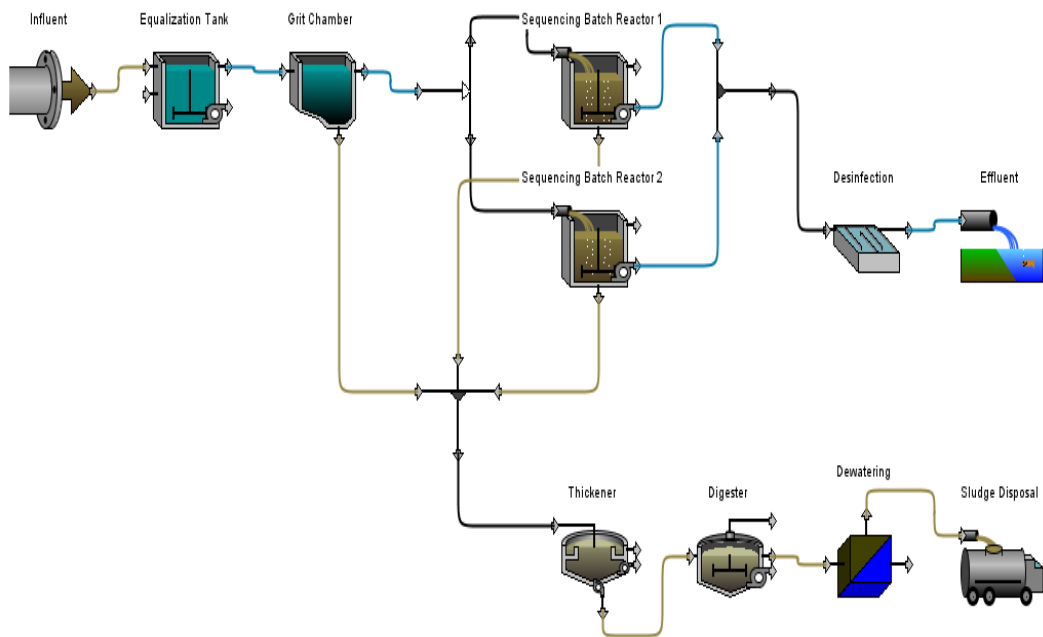
METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan menyusun Model

Metode penelitian ini dilakukan dengan cara pemodelan dan simulasi IPAL menggunakan *software* GPS-X versi 8.0.1 Tahapan yang dilakukan untuk membuat model sampai pada tahap simulasi adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Tahapan Penggunaan software GPS-X Versi 8.0



Gambar 3. 2 *Layout* unit-unit pada model IPAL dalam GPS-X

3.2 Data Input

Data karakteristik influen yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan nilai dari *medium strength*, Metcalf dan Eddy, 2003. Lalu untuk besar laju aliran yang digunakan yaitu sebesar 1000 m³/hari. Berikut ini merupakan tabel karakteristik influen air limbah.

Tabel 3. 1 Karakteristik influen air limbah

<i>Contaminants</i>	<i>Unit</i>	<i>Value</i>
<i>Total solids (TS)</i>	mg/L	720
<i>Total dissolved solids (TDS)</i>	mg/L	500
<i>Fixed</i>	mg/L	300
<i>Volatile</i>	mg/L	200
<i>Total suspended solids (TSS)</i>	mg/L	210
<i>Fixed</i>	mg/L	50

<i>Volatile</i>	mg/L	160
<i>Settleable solids</i>	mL/L	10
<i>Biochemical oxygen demand, 5d (BOD5)</i>	mg/L	190
<i>Total organic carbon (TOC)</i>	mg/L	140
<i>Chemical oxygen demand (COD)</i>	mg/L	430
<i>Nitrogen (as TN)</i>	mg/L	40
<i>Organic</i>	mg/L	15
<i>Free ammonia</i>	mg/L	25
<i>Nitrites</i>	mg/L	0
<i>Nitrates</i>	mg/L	0
<i>Phosphorus (as TP)</i>	mg/L	7
<i>Organic</i>	mg/L	2
<i>Inorganic</i>	mg/L	5
<i>Chlorides (Cl)</i>	mg/L	50
<i>Sulfate (SO4)2-</i>	mg/L	30
<i>Oil and Grease</i>	mg/L	90
<i>Volatile organic compounds (VOCs)</i>	mg/L	100-400
<i>Total coliform</i>	No./100 mL	10 ⁷ - 10 ⁹
<i>Fecal coliform</i>	No./100 mL	10 ⁴ - 10 ⁶
<i>Cryptosporidium oocysts</i>	No./100 mL	10 ⁻¹ - 10 ¹
<i>Giardia lamblia cysts</i>	No./100 mL	10 ⁻¹ - 10 ²

Sumber : *Wastewater Medium Strength Concentration*, Metcalf Eddy, 2003

Pada proses input karakteristik influen terdapat 3 kolom, yang pertama kolom *user input* yang berada di sebelah kiri berisi variabel yang dapat langsung dimodifikasi oleh pengguna untuk mengkarakterisasi aliran influen yang diberikan untuk model influen yang dipilih. Lalu kolom kedua *state variables* berisi ringkasan variabel status terhitung berdasarkan konsentrasi dan stoikiometri yang telah dimasukkan di kolom sebelah kiri. Kolom ketiga yang terletak di sebelah kanan merupakan *composite variables* yang telah dihitung berdasarkan input pengguna (*user input*) dan variabel status yang ditentukan. Saat data dimasukkan

ke kolom input pengguna, status dan nilai variabel komposit diperbarui secara otomatis (GPS-X, 2019). Di bawah ini merupakan tabel nilai input karakteristik Influen.

Tabel 3. 2 Tabel Nilai yang Digunakan pada Input Karakteristik Influen

Komponen	Kategori	Parameter	Simbol	Satuan	Nilai
<i>User Input</i>	<i>Influent</i>	<i>total COD</i>	cod	gCOD/m ³	430
	<i>Composition</i>	<i>total TKN</i>	tkn	gN/m ³	40
		<i>total phosphorus</i>	tp	gP/m ³	10
		<i>ammonia nitrogen</i>	snh	gN/m ³	25
<i>Composite Variables</i>	<i>Solid Variables</i>	<i>total suspended solids</i>	x	g/m ³	210
		<i>volatile suspended solids</i>	vss	g/m ³	160
	<i>Organic Variables</i>	<i>total cBOD5</i>	bod	gO ₂ /m ³	190

Lalu untuk parameter fisik dari masing-masing unit IPAL yang direncanakan ditunjukkan pada tabel sebagai berikut:

1. *Equalization Tank.*

Tabel 3. 3 Input Parameter Unit *Equalization Tank*

Design Parameter	Nilai	Satuan
<i>Number of tank</i>	1	-
<i>Volume of each tank</i>	1500	m ³
<i>Tank depth</i>	4	m

2. Grit Chamber

Tabel 3. 4 Input Parameter Unit *Grit Chamber*

Design Parameter	Nilai	Satuan
Local liquid temperature	68	F
Grit production per flow	20	mg/L
Dry solid content of grit	98	%

3. Sequencing Batch Reactor (SBR)

Tabel 3. 5 Input Parameter Unit *Sequencing Batch Reactor*

Design Parameter	Nilai	Satuan
<i>Number of SBR reactors</i>	2	-
<i>Feed point from bottom</i>	1	m
<i>Surface area</i>	300	m ²
<i>water level (height)</i>	5	m

4. Disinfection

Tabel 3. 6 Input Parameter Unit *Disinfection*

Design Parameter	Nilai	Satuan
<i>Local liquid temperature</i>	68	F
<i>Volume</i>	30	m ³
<i>Chlorine dosage</i>	5	mg/L
<i>pH in chlorine contact tank</i>	7	-
<i>Total coliform count before</i>	10000000	MPN/100mL

disinfection

5. Thickener

Tabel 3. 7 Input Parameter Unit *Thickener*

Design Parameter	Nilai	Satuan
<i>Number of tank</i>	1	-
<i>Volume of each tank</i>	300	m ³
<i>Surface area</i>	100	m ²
<i>water level (height)</i>	3	m

6. Digester

Tabel 3. 8 Input Parameter Unit *Digester*

Design Parameter	Nilai	Satuan
<i>Number of tank</i>	1	-
<i>Maximum volume</i>	300	m ³

7. Dewatering

Tabel 3. 9 Input Parameter Unit *Dewatering*

Design Parameter	Nilai	Satuan
<i>Maximum volume</i>	400	m ³
<i>Effective volume fraction</i>	1	-
<i>Total gas pressure</i>	1	atm
<i>Floor drop below</i>	1	m
<i>Height to diameter ratio</i>	1.5	-
<i>Temperature</i>	95	F

3.3 Skenario Simulasi

Dilakukan tiga skenario pada penelitian ini untuk mengetahui kinerja dan perubahan effluen yang terjadi pada simulasi model instalasi pengolahan air limbah ini. Berikut tiga skenario yang di simulasikan dalam penelitian ini.

1. Skenario 1 (Skenario Durasi Siklus dalam SBR)

Skenario pertama yaitu membandingkan nilai efluen hasil pengolahan dari enam opsi durasi siklus yang bervariasi pada fase pengisian dan reaksi pada unit *sequencing batch reactor*. Opsi ke-1 pada saat fase pengisian dan reaksi dibantu dengan aerasi untuk mencapai kondisi aerobik, sehingga tidak terjadi kondisi anoksik pada opsi ini. Lalu opsi ke- 2 pada fase pengisian dilakukan dengan aerasi untuk mencapai kondisi aerobik, lalu fase reaksi dilakukan pengadukan. Kemudian pada opsi ke-3 di dalam skenario ini fase pengisian dilakukan pengadukan tanpa aerasi untuk mencapai kondisi anoksik, lalu pada fase reaksi dilakukan aerasi agar kondisi aerobik. Opsi ke-4 fase pengisian dilakukan dalam kondisi anoksik dengan pengadukan lalu pada fase reaksi dilakukan aerasi. Opsi ke-5 pada fase pengisian dilakukan pengadukan kemudian aerasi, lalu fase reaksinya dilakukan aerasi kembali. Opsi ke-6 pada fase *pengisian* dilakukan dengan pengadukan dan aerasi, untuk fase aerasinya hanya dilakukan pengadukan tanpa aerasi. Pada opsi-opsi ini dilakukan dalam jumlah total waktu yang sama yaitu 360 menit atau 6 jam yang terdiri dari waktu fase pengisian 90 menit, waktu fase reaksi 120 menit, pengendapan 70 menit, *decant* 60 menit, *desludge* 20 menit agar masing-masing opsi setara satu sama lainnya, yang membedakan hanya terdapat pada fase pengisian dan *fase reaksi* yang didalamnya terdapat proses pengadukan dan/atau aerasi. Durasi pada siklus untuk masing-masing opsi untuk lebih jelasnya terdapat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3. 10 Skenario 1 (Durasi pada Siklus)

Opsi	Pengisian	Reacting	Settling	Decant	Desludge	Total	Satuan
-------------	------------------	-----------------	-----------------	---------------	-----------------	--------------	---------------

	Mixing	Aerated	Mixing	Aerated			Time	Waktu
1		90		120	70	60	20	360 Menit
2		90	120		70	60	20	360 Menit
3	90			120	70	60	20	360 Menit
4	90		120		70	60	20	360 Menit
5	45	45		120	70	60	20	360 Menit
6	45	45	120		70	60	20	360 Menit

2. Skenario 2 (Skenario Optimasi Durasi Aerasi)

Pada skenario berikutnya yaitu mengurangi durasi aerasi sebanyak dua puluh menit secara berturut-turut sebanyak empat kali pada fase reaksi dari opsi siklus yang terpilih di skenario pertama. Setelah dilakukan simulasi dengan durasi siklus yang bervariasi dari skenario sebelumnya, didapatkan opsi durasi siklus yang memberikan hasil terbaik, berikutnya akan dilakukan simulasi untuk mencari waktu aerasi yang optimal dengan beberapa opsi.

Pertimbangan dalam melakukan simulasi adalah untuk mengurangi biaya operasional, yang dimana semakin lama waktu aerasi maka akan memerlukan biaya operasional yang semakin tinggi sehingga variasi pada waktu aerasi skenario ini akan kurang dari waktu aerasi pada durasi siklus yang sudah ditemukan pada simulasi sebelum ini yaitu kurang dari 120 menit. Berikut merupakan tabel opsi-opsi dan durasi aerasi pada skenario dua.

Tabel 3. 11 Skenario 2 (Optimalisasi Durasi Aerasi pada Fase Reaksi)

Opsi	Durasi Aerasi	Satuan
1	100	Menit
2	80	Menit
3	60	Menit
4	40	Menit

3. Skenario 3 (Skenario Penambahan Konsentrasi)

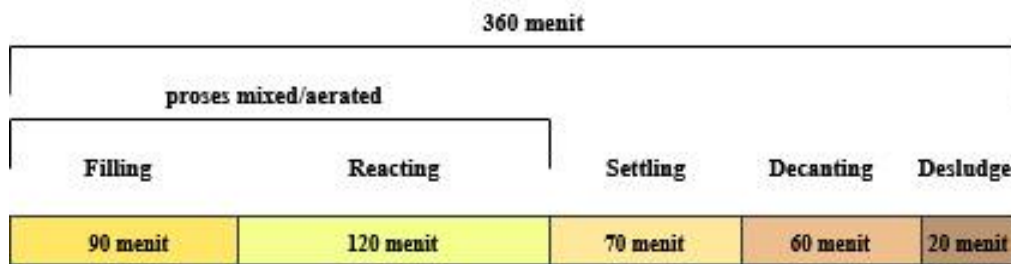
Pada skenario terakhir dilakukan skenario penambahan konsentrasi sebanyak 1.5x dan 1.7x pada opsi terpilih yang sudah dikurangi waktu aerasinya. Untuk mengetahui kemampuan pengolahan limbah jika terjadi penambahan konsentrasi air limbah yang masuk (influen) yang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 3. 12 Skenario 3 (Peningkatan Konsentrasi Influen 1.5x dan 1.7x)

Parameter	Satuan	Influent	
		1.5x	1.7x
Flow	m ³ /day	1000	1000
total COD	gCOD/m ³	645	731
total TKN	gN/m ³	60	68
total phosphorus	gP/m ³	15	17
ammonia nitrogen	gN/m ³	37.5	42.5
total suspended solids	g/m ³	315	357
volatile suspended solids	gO ₂ /m ³	240	272
total cBOD ₅	gO ₂ /m ³	285	323

3.4 Penentuan Pola Siklus dan Aerasi Optimal

Penentuan pola siklus yang optimal didapatkan dengan cara perbandingan kualitas efluen dari hasil simulasi pengolahan masing-masing opsi yang terdapat pada skenario, dilakukan dengan cara melihat jika ada parameter yang melebihi baku mutu kualitas air limbah maka opsi siklus tersebut tersisihkan atau tidak masuk ke skenario berikutnya. Serupa dengan cara yang sebelumnya penentuan durasi aerasi yang optimal dilakukan dengan cara melihat parameter dari kualitas efluen yang tidak melebihi baku mutu dan yang memiliki durasi aerasi tersingkat diantara opsi lainnya. Pengertian dari durasi aerasi tersingkat adalah jumlah total durasi aerasi yang terjadi dalam satu siklus SBR, yang pada simulasi ini proses aerasi terdapat pada fase pengisian dan reaksi seperti yang dijelaskan pada gambar berikut:



Gambar 3. 3 Contoh Durasi pada Siklus SBR

Jika terdapat opsi yang memiliki nilai efluen lebih rendah dibandingkan opsi lain yang memiliki durasi aerasi yang lebih singkat namun nilai efluen lebih tinggi, selama nilai efluen opsi tersebut tidak melewati baku mutu air limbah maka opsi tersebut yang terpilih sebagai durasi aerasi yang optimum.

Baku mutu air limbah yang menjadi acuan pada penelitian ini menggunakan Permen LHK No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Limbah Domestik yang dijelaskan pada tabel berikut ini.

Tabel 3. 13 Baku Mutu Limbah Domestik

No	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
1	TSS	mg/L	30
2	BOD	mg/L	30
3	COD	mg/L	100
4	Amoniak	mg/L	10
5	Minyak dan Lemak	mg/L	5
6	Total Coliform	Jumlah/100 mL	3000
7	Debit	L/orang/hari	100
8	pH	-	6 s/d 9

Sumber: Permen LHK No. 68 tahun 2016

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Skenario Pada Simulasi Model IPAL

Instalasi pengolahan air limbah bertujuan untuk menurunkan atau menghilangkan kontaminan yang terdapat pada air limbah dengan beragam teknologi yang disesuaikan dengan karakteristik air limbah dan kemampuan perencanaan seperti ketersediaan lahan, anggaran biaya dan hal lainnya yang menjadi pertimbangan. Salah satunya adalah teknologi *sequencing batch reactor* (SBR) yang menggunakan metode *batch*. SBR adalah metode pengolahan air limbah yang jauh lebih mudah dioperasikan di industri dengan luas lahan yang jauh lebih kecil (hanya membutuhkan beberapa reaktor) dibandingkan dengan instalasi pengolahan air limbah tradisional, serta mampu digunakan untuk mengolah air limbah dalam jumlah yang banyak. Keuntungan utama dari sistem SBR adalah optimalisasi energi melalui kontrol aktivitas metabolik, lahan yang dibutuhkan kecil, dan kemampuan sistem SBR untuk menghilangkan sebagian besar *bulking* pada mikroorganisme dengan cara mengontrol siklus operasi SBR (Coelho et al., 2000) dengan kata lain dengan mengontrol siklus operasi SBR maka dapat meningkatkan kinerja atau efektifitas proses operasi serta mendapatkan hasil yang optimal.

Proses operasi dasar SBR pada umumnya terdiri dari Fill, React, Settle, Draw, dan Desludge. Namun, Jenis dan durasi masing-masing fase (atau kombinasi fase) dapat divariasikan tergantung pada kebutuhan pengolahan, hal ini memberikan fleksibilitas dalam cara SBR mengolah limbah yang masuk. Ini akan memungkinkan SBR memberikan tingkat pengolahan yang optimal sesuai dengan karakteristik limbah (Shaw et al., 2009).

Meskipun IPAL memiliki tujuan untuk menurunkan kadar polutan pada air limbah, optimalisasi pada penggunaan energi juga penting untuk dilakukan pada

sistem pengolahan, contohnya penggunaan *blower* udara pada proses aerasi yang membutuhkan energi listrik, jika pada suatu IPAL membutuhkan *blower* udara dalam jumlah banyak dan penggunaannya dalam waktu yang cukup lama, hal ini akan meningkatkan penggunaan energi yang berujung pada bertambahnya biaya operasional IPAL, maka dari itu penting untuk dilakukannya optimalisasi untuk mencapai kualitas efluen yang memenuhi baku mutu dengan penggunaan energi yang optimal (Jafarinejad, 2019).

Maka pada penelitian ini akan membahas tentang performa variasi durasi pada siklus dan waktu aerasi yang optimal untuk mengurangi pengeluaran biaya listrik pada unit SBR (*Sequencing Batch Reactor*) menggunakan simulasi menggunakan GPS-X. Penggunaan simulasi komputer untuk menganalisis kinerja, keefektifan dan energi pada instalasi pengolahan air limbah sangat berguna karena pada kenyataannya simulasi teknis dan sudut pandang ekonomi diperlukan untuk merancang IPAL (Jafarinejad, 2019). Seperti penelitian yang dilakukan oleh Drewnowski (2018) yang mengevaluasi efek perbaikan pada IPAL dengan cara pemodelan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh modernisasi atau pembaharuan terhadap kinerja proses. Kemudian hasil penelitiannya menunjukkan pengeluaran energi karena aerasi berkurang sekitar 20% namun tetap mempertahankan kualitas efluen air limbah. Selain itu simulasi model dapat digunakan untuk melakukan berbagai skenario dan mengoptimalkan proses pengolahan air limbah pada aspek lingkungan dan ekonomi (Asmah, 2016).

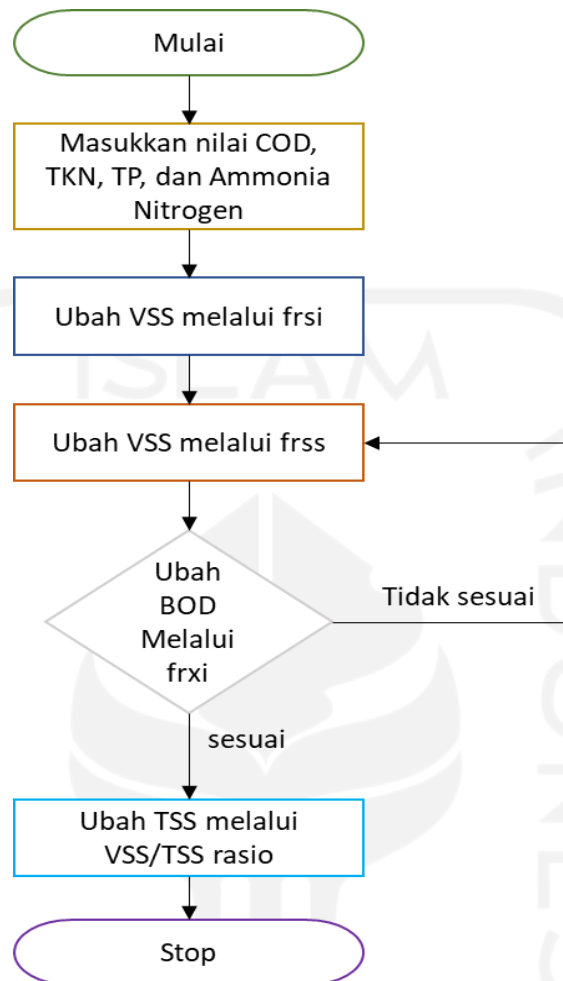
Simulasi IPAL ini dilakukan dengan beberapa skenario untuk melihat perbandingan performa IPAL. Pada skenario pertama yaitu menyelidiki enam variasi durasi siklus yang berbeda-beda pada fase *filling* dan *react*, namun durasi fase *settle*, *decant*, dan fase *idle* memiliki durasi yang seragam dengan total waktu dan karakteristik air limbah yang sama. Skenario kedua yaitu melakukan optimasi pengurangan durasi aerasi pada fase reaksi terhadap opsi yang terpilih dari skenario pertama, setelah itu dilakukan penambahan konsentrasi kualitas air limbah yang bertujuan untuk mengetahui performa IPAL dengan opsi siklus dan durasi aerasi yang sebelumnya sudah dioptimasi dalam mengolah beban limbah

jika terjadi penambahan konsentrasi kualitas air limbah yang masuk. Kualitas efluen hasil pengolahan IPAL memiliki batas maksimum mengacu pada Permen LHK No 68. Tahun 2016 tentang Baku Mutu Limbah Domestik (Tabel 3.5).

4.2 Kalibrasi Data dan Validasi Model

Perlu dilakukan kalibrasi dan validasi data sebelum melakukan simulasi pengolahan air limbah agar data kualitas air limbah yang direncanakan sebagai nilai influen sesuai atau mendekati dengan kualitas air limbah yang direncanakan yaitu *medium strength* dari Metcalf & Eddy (2003).

Dari hasil uji coba pada penelitian ini melalui pendekatan dengan cara *trial and error*, didapatkan dengan merubah nilai parameter-parameter pada *user input* yang memberikan pengaruh pada kesetimbangan masa agar didapatkan nilai parameter tujuan sesuai dengan yang direncanakan yaitu *medium strength* ditunjukkan pada gambar 4.1 berikut.



Gambar 4. 1 Proses Trial and Error pada User Input

Parameter-parameter yang dirubah tersebut adalah VSS/TSS (*ivsstotss*) terdapat pada tab *influent fractions*, lalu *soluble inert fraction of total COD* (*frsi*), *readily biodegradable fractions of total COD* (*frss*), dan *particulate inert of total COD* (*frxi*) yang terdapat pada tab *organic fractions*. Parameter-parameter tersebut dirubah dari nilai default menjadi nilai yang disesuaikan seperti pada tabel di bawah ini.

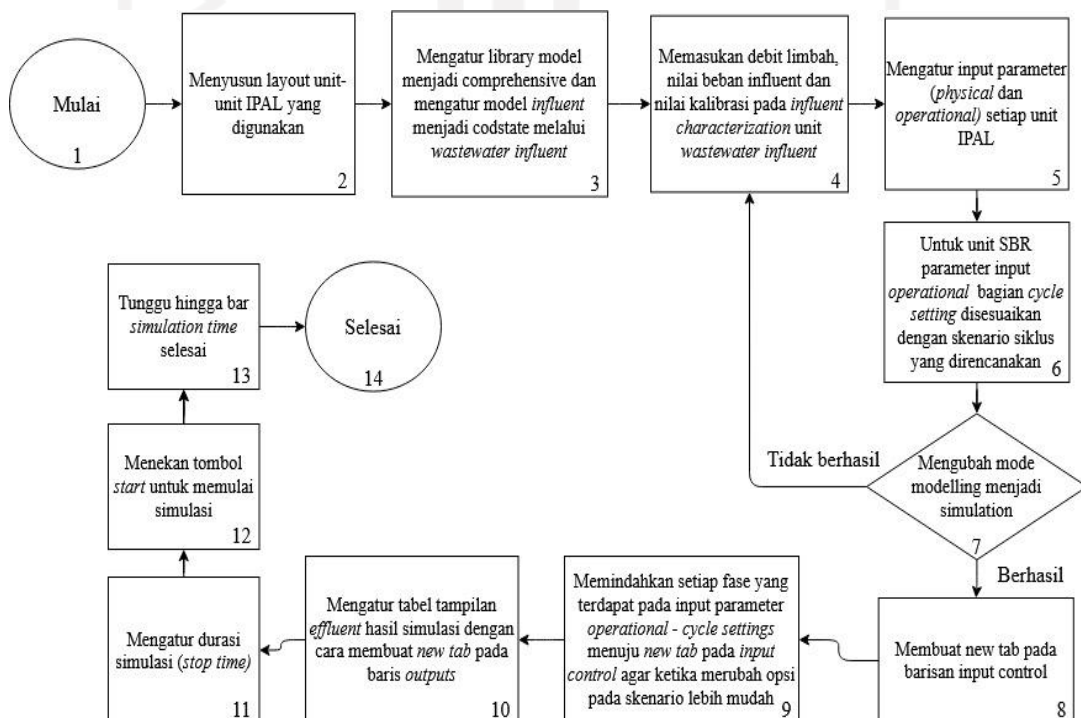
Tabel 4. 1 Nilai Parameter pada User Input yang disesuaikan

Komponen	Kategori	Parameter	Simbol	Default Value	Adjusted Value
<i>User Input</i>	<i>Influent Fractions</i>	<i>VSS/TSS ratio</i>	<i>ivsstotss</i>	0.75	0.762

	<i>soluble inert fraction of total COD</i>	frsi	0.05	0.06
<i>Organic Fractions</i>	<i>readily biodegradable fractions of total COD</i>	frss	0.2	0.237
	<i>particulate inert fraction of total COD</i>	frxi	0.13	0.2502

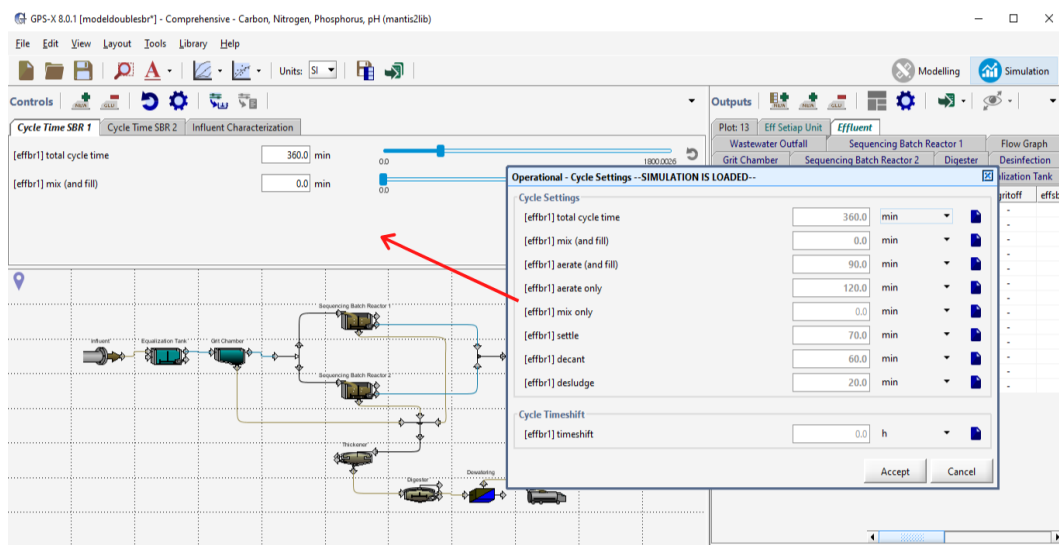
4.3 Tahapan Simulasi Model Unit SBR menggunakan Software GPS-X

Pemodelan dan simulasi IPAL pada penelitian ini dilakukan menggunakan software GPS-X versi 8.0.1 seperti yang sudah dilakukan oleh berbagai peneliti terdahulu yang menggunakan simulasi model dengan aplikasi ini, seperti Hvala et al. (2017) yang menggunakan simulasi GPS-X untuk memperbaiki dan meningkatkan performa unit SBR. Filali-Meknassi et al. (2004) menggunakan GPS-X untuk mensimulasikan berbagai strategi aerasi, *sludge retention time* (SRT), dan *hydraulic retention time* (HRT) yang berbeda. Berikut adalah tahapan dalam melakukan simulasi model menggunakan Software GPS-X versi 8.01.



Gambar 4. 2 Tahapan Simulasi Model Unit *Sequencing Batch Reactor*

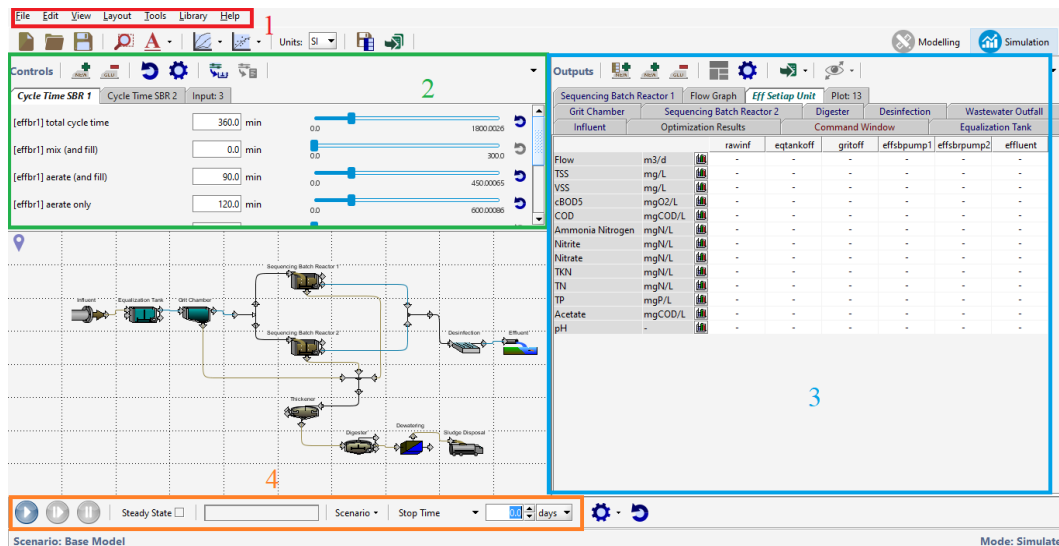
Pada tahapan nomer sembilan yaitu memindahkan setiap fase pada *cycle-settings* mulai dari *total cycle time* hingga fase *desludge* menuju *input control* hal tersebut dilakukan untuk memudahkan pengguna untuk melakukan perubahan pada skenario yang akan dilakukan, sehingga tidak perlu kembali ke mode *modelling* untuk merubah *input parameter*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut.



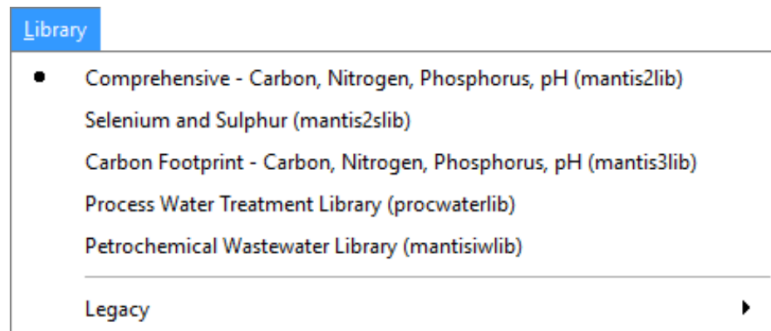
Gambar 4. 3 Memindahkan *Input Parameter Cycle Settings* ke bagian *Tab Control*

Pada tampilan mode simulasi terdapat beberapa bagian-bagian yang memiliki fungsi yang berbeda pada gambar 4.4 bagian dengan nomer 1 merupakan bagian *menu bar* dimana terdapat *library* yang pada penelitian ini menggunakan *Comprehensive – Carbon, Nitrogen, Phosphorus, pH (mantis2lib)* karena pada *library mantis2lib* adalah implementasi dari IPAL nyata, sehingga proses proses biologis, fisik, dan kimia dapat terjadi secara gabungan. (Abou-Elela. et. al, 2016). Lalu pada bagian 2 merupakan tempat *input controls* yang digunakan untuk dapat memudahkan pengguna jika ingin mengganti *input parameters* yang terdapat pada model. Lalu pada bagian ke 3 di sebelah kanan gambar merupakan bagian *outputs* yang merupakan tempat data dari hasil

simulasi, lalu pada bagian nomer 4 merupakan tempat *simulation toolbar* yang terdapat di dalamnya *simulation progress controls*, *steady state checkbox controls*, *convergence/simulation progress bar*, *stop time*, *simulation control* dan *reset button*.



Gambar 4. 4 Tampilan pada Mode Simulasi GPS-X 8.0.1



Gambar 4. 5 Library pada Menu Bar

4.4 Proses Pada Simulasi IPAL

Pada penelitian ini pemodelan IPAL disimulasikan untuk mengolah limbah domestik atau perkotaan dengan debit sebesar 1000 m³/hari dan dengan karakteristik air limbah seperti yang tertera pada tabel 3.1 Pada tahap awal air limbah yang masuk ditampung menggunakan unit bak ekualisasi untuk menampung dan mengendalikan fluktuasi air limbah, kemudian dialirkan menuju

unit *grit chamber* yang berfungsi untuk menghilangkan pasir atau partikel-partikel kecil, setelah itu dialirkan menuju unit *sequencing batch reactor* lalu terakhir dialirkan ke unit desinfeksi sebelum dialirkan ke efluen.

Pada saat melakukan simulasi model, kondisi simulasi dilakukan dengan keadaan *unsteady state* karena pada unit SBR tidak memiliki kondisi efluen yang tetap (*steady state*) hal tersebut disampaikan pada video yang dibuat oleh pihak Hydromantis mengenai cara memodelkan unit *Sequencing Batch Reactor* menggunakan GPS-X. Kemudian *stop time* yang digunakan pada saat simulasi tidak diatur dengan waktu yang sama, karena *stop time* pada simulasi ini diatur menyesuaikan dengan fase dimana unit SBR sedang berada di fase *decant* atau fase pembuangan efluen keluar. *Stop time* adalah lamanya waktu simulasi akan dijalankan sebelum berhenti. Nilai ini juga digunakan untuk menyetel waktu maksimum pada grafik (GPS-X User Guide, 2019). Berikut merupakan tabel *stop time* yang digunakan untuk simulasi model IPAL pada penelitian ini.

Tabel 4. 2 Stop Time yang digunakan pada Total Durasi pada Siklus

Total durasi pada siklus (menit)	Stop time (days)
360	10.2
340	10.1
320	10.2
300	10.4
280	9.9

4.5 Penentuan Pola Durasi Siklus Optimum pada SBR

Pada skenario pertama yaitu perbandingan durasi pada enam siklus berbeda pada fase pengisian dan reaksi namun berdurasi sama untuk fase lainnya yaitu fase *settle*, *decant*, dan fase *idle* dengan total waktu yang sama pada masing-masing opsi siklusnya. Begitu juga dengan debit dan konsentrasi beban memiliki nilai yang serupa. Dari hasil simulasi didapatkan kualitas effluen yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 3 Hasil Perbandingan Efluen pada Opsi Siklus SBR

Parameter	Satuan	Influent	Effluent						BMAL
			Opsi 1	Opsi 2	Opsi 3	Opsi 4	Opsi 5	Opsi 6	
<i>Flow</i>	m ³ /d	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	-
<i>TSS</i>	mg/L	210	13.04	13.45	13.38	15.09	13.09	13.54	30
<i>VSS</i>	mg/L	160	9.06	9.76	8.68	11.07	8.82	9.66	-
<i>cBOD5</i>	mgO ₂ /L	190	7.97	13.82	11.48	97.83	8.37	30.66	30
<i>COD</i>	mgCOD/L	430	46.21	54.79	50.70	173.60	46.51	78.77	100
<i>Ammonia Nitrogen</i>	mgN/L	25	1.88	8.68	5.21	27.74	2.45	19.40	10
<i>Nitrite</i>	mgN/L	0	0.79	0.07	0.57	0.00	0.88	0.00	-
<i>Nitrate</i>	mgN/L	0	8.47	0.06	0.46	0.00	5.71	0.00	-
<i>TKN</i>	mgN/L	40	3.78	10.63	7.19	30.02	4.34	21.27	-
<i>TN</i>	mgN/L	40	13.03	10.75	8.21	30.02	10.93	21.27	-
<i>TP</i>	mgP/L	10	5.58	9.41	0.74	11.47	3.20	10.59	-

Pada opsi pertama saat fase pengisian dilakukan dengan aerasi selama 90 menit lalu dilanjutkan fase reaksi dengan aerasi selama 120 menit dimana pada fase tersebut karbon organik dan amonia teroksidasi dan juga proses nitrifikasi terjadi. Pada opsi ini tidak dilakukan proses pengadukan sehingga tidak terjadi proses denitrifikasi sehingga nilai nitrat yang dihasilkan sebesar 8.47 mg/L (Nasr, 2011) Nilai Efluen TSS, cBOD, COD dan amonia masing-masing bernilai 13.14 mg/L, 7.97 mg/L, 46.21 mg/L, 1.88 mg/L hasil simulasi yang diperoleh pada opsi satu ini tidak ada yang melebihi baku mutu air limbah.

Pada fase pengisian opsi kedua dilakukan dengan aerasi selama 90 menit sama seperti opsi pertama untuk mengoksidasi karbon organik dan amonia. Diikuti dengan pengadukan selama 120 menit pada fase reaksi untuk mendapatkan proses denitrifikasi sehingga nitrogen yang teroksidasi dapat didenitrifikasi oleh bakteri heterotrof. (Mahmoud, 2011). Parameter hasil simulasi menggunakan siklus ini tidak ada yang melebihi baku mutu dengan nilai TSS,

cBOD, COD dan amonia sebesar 13.45 mg/L, 13.82 mg/L, 54.79 mg/L, dan 8.68 mg/L.

Opsi siklus ketiga ketika fase pengisian, air limbah yang masuk dilakukan pengadukan selama 90 menit bakteri mendegradasi secara organik menggunakan sisa oksigen atau alternatif elektron alternatif seperti nitrat nitrogen, kemudian pada fase reaksi dilakukan aerasi pada air limbah selama 120 menit agar terjadi proses oksidasi karbon organik, amonia dan juga terjadi proses nitrifikasi (Nasr et al., 2011). Sama seperti siklus-siklus sebelumnya parameter pada efluen opsi siklus ini tidak ada yang melebihi baku mutu, nilai TSS, cBOD, COD dan amonia yang dihasilkan adalah 13.38 mg/L, 11.48 mg/L, 50.70 mg/L, 5.21 mg/L.

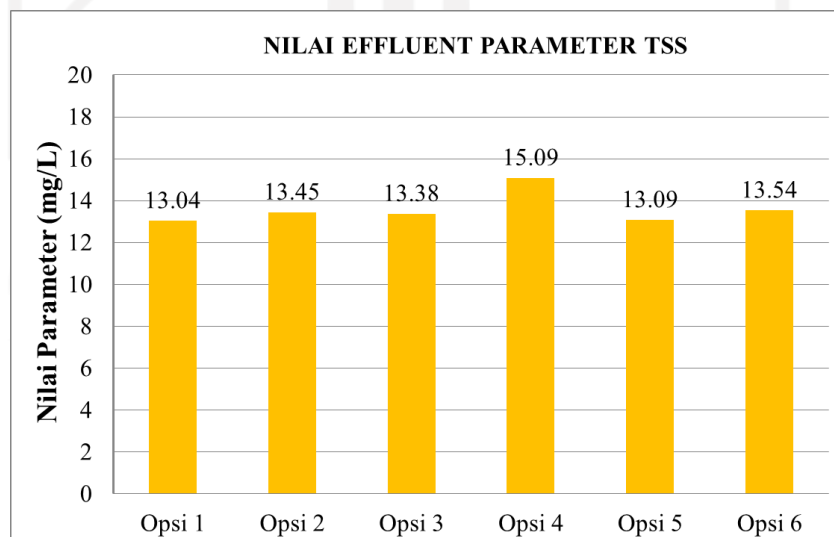
Pada siklus opsi keempat dimulai dengan fase pengisian dengan pengadukan selama 90 menit karena kebanyakan jumlah nitrat yang terbentuk berasal dari proses aerasi pada siklus sebelumnya yang tertinggal pada tangki (Nasr et al., 2011). Diikuti dengan 120 menit waktu pengadukan sehingga pada siklus ini tidak terdapat proses aerasi yang menyebabkan tidak terjadinya proses oksidasi karbon organik, amonia dan juga proses nitrifikasi terlihat dari parameter efluen cBOD, COD dan amonia melebihi baku mutu yaitu dengan nilai 97.83 mg/L, 173.60 mg/L, dan 27.74 mg/L sedangkan untuk parameter TSS memiliki nilai tertinggi dibandingkan dengan opsi siklus lainnya, namun masih memenuhi baku mutu air limbah dengan nilai 15.09 mg/L.

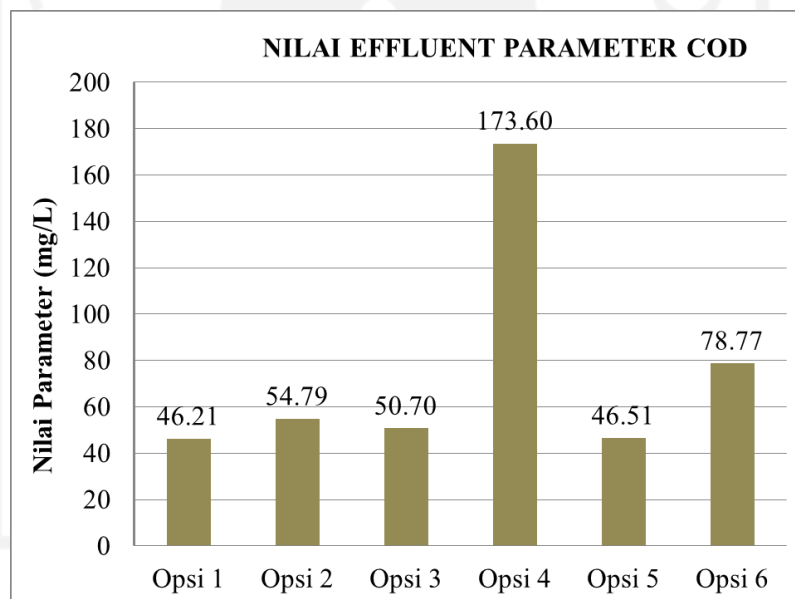
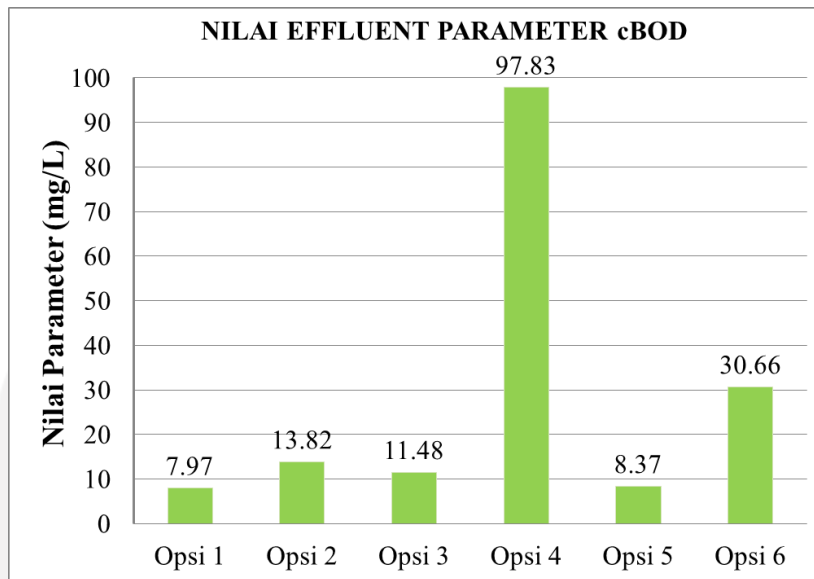
Untuk opsi siklus kelima pada fase pengisian prosesnya dibagi menjadi dua kondisi yaitu anaerobik dan aerobik yang dilakukan dengan membagi 90 menit durasi pengisian menjadi 45 menit durasi pengadukan dan dilanjutkan dengan 45 menit durasi aerasi. Kemudian berikutnya pada fase reaksi dilakukan aerasi selama 120 menit. Nilai hasil simulasi opsi siklus ini tidak melebihi baku mutu air limbah pada setiap parameternya, untuk nilai efluen TSS, cBOD, COD dan amonia masing-masing bernilai 13.09 mg/L, 8.37 mg/L, 46.51 mg/L, 2.45 mg/L. Ketika pada fase reaksi, terjadi aerasi selama 120 menit menyebabkan karbon organik, amonia teroksidasi dan juga terjadi proses nitrifikasi. Hal tersebut serupa dengan siklus opsi satu.

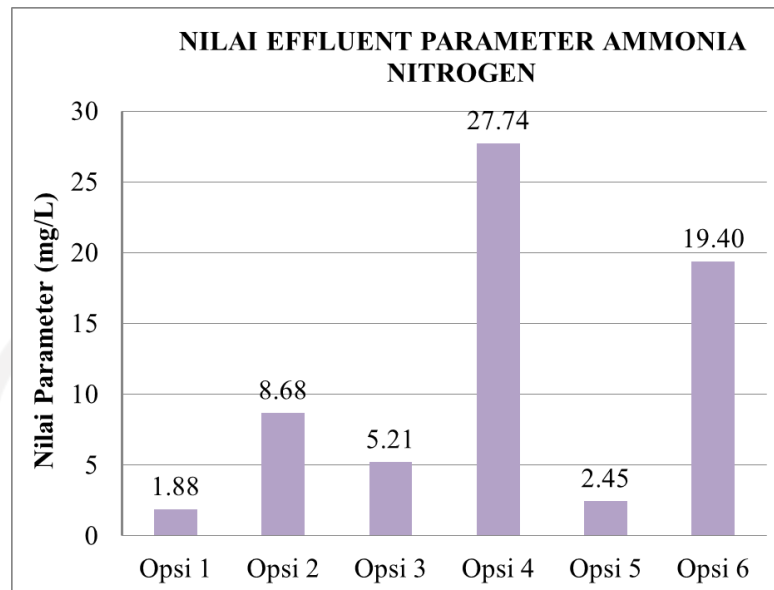
Pada opsi siklus keenam serupa dengan opsi kelima dimana ketika fase pengisian selama 90 menit dibagi menjadi dua waktu, 45 menit pengadukan dan 45 menit aerasi kemudian dilanjutkan dengan 120 menit pengadukan pada fase reaksi. Nilai efluen dari hasil simulasi untuk parameter cBOD senilai 30.66 mg/L sedikit melebihi baku mutu air limbah, lalu untuk parameter amonia memiliki nilai 19.40 mg/L yang melebihi baku mutu hal tersebut dikarenakan durasi aerasi yang singkat pada saat fase pengisian tidak cukup untuk mengoksidasi amonia sepenuhnya. Sedangkan untuk nilai parameter TSS dan COD bernilai 13.54 mg/L dan 78.77 mg/L yang tidak melebihi baku mutu air limbah.

Dari hasil simulasi skenario durasi siklus di atas diketahui bahwa opsi siklus pertama, kedua, ketiga dan kelima nilai efluennya tidak melebihi baku mutu air limbah. Namun untuk opsi kedua tidak memiliki proses aerasi pada fase reaksi dan apabila dilakukan optimasi/pengurangan durasi aerasi pada fase pengisian hal tersebut akan menyebabkan peningkatan nilai amonia pada efluen seperti yang terjadi pada opsi siklus enam. Sehingga opsi siklus terpilih untuk digunakan pada skenario optimasi durasi aerasi adalah opsi siklus pertama, ketiga dan kelima.

Berdasarkan pembahasan diatas dapat diperjelas melalui gambar dibawah ini:







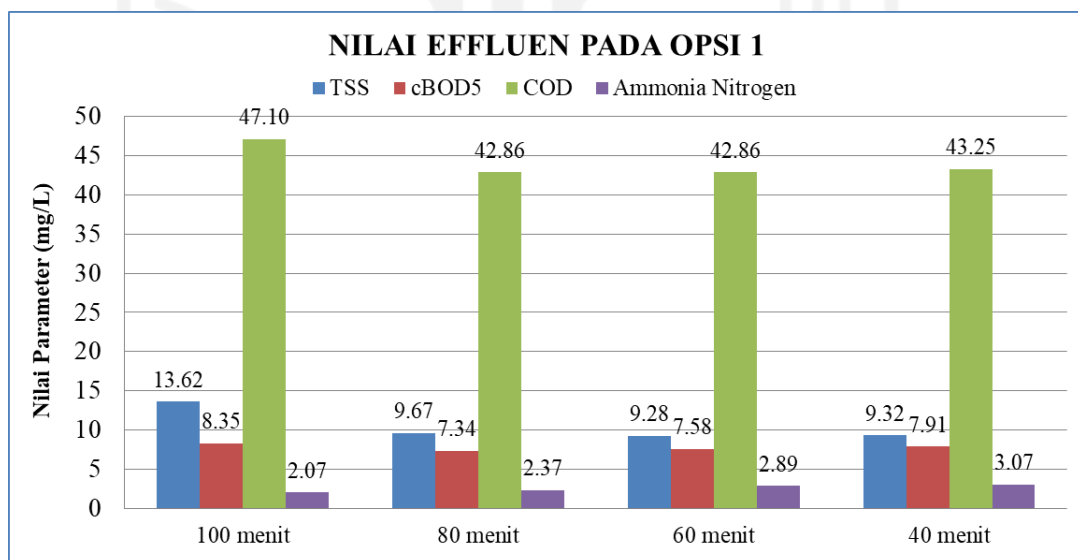
4.6 Optimasi Durasi Aerasi pada Siklus Terpilih

Berikutnya pada simulasi pada skenario ini, dilakukan optimalisasi durasi aerasi dengan cara mengurangi durasi aerasi pada fase reaksi sebanyak 20 menit sebanyak 4 x yaitu dari 120 menit menjadi 100 menit, 80 menit, 60 menit dan 40 menit. Simulasi skenario ini dilakukan pada opsi yang terpilih di skenario sebelumnya.

Nilai efluen dari hasil pada opsi siklus pertama untuk optimasi durasi aerasi tidak ada yang melebihi baku mutu air limbah. Pada parameter TSS menunjukkan penurunan seiring berkurangnya waktu aerasi sampai pada menit ke 60 namun terjadi sedikit peningkatan pada menit ke 40. Untuk parameter BOD pada menit ke 80 hasil efluennya menunjukkan nilai terendah meskipun tidak jauh dengan durasi aerasi lainnya. Untuk parameter COD memiliki nilai yang menurun seiring berkurangnya waktu aerasi dan pada menit ke 80 dan 60 parameter COD memiliki nilai yang sama lalu meningkat kembali pada durasi aerasi 40 menit. Berbeda dengan nilai efluen parameter amonia yang meningkat seiring berkurangnya waktu aerasi. Berikut merupakan tabel hasil simulasi untuk opsi 1 pada skenario ini.

Tabel 4. 4 Perbandingan Efluen pada Pengurangan Durasi Aerasi Opsi Satu

Parameter	Influent	Opsi 1				BMAL
		100 menit	80 menit	60 menit	40 menit	
Flow (m ³ /d)	1000	1000	1000	1000	1000	-
TSS (mg/L)	210	13.62	9.67	9.28	9.32	30
VSS (mg/L)	160	9.41	6.66	6.40	6.27	-
cBOD5 (mgO ₂ /L)	190	8.35	7.34	7.58	7.91	30
COD (mgCOD/L)	430	47.10	42.86	42.86	43.25	100
Ammonia Nitrogen (mgN/L)	25	2.07	2.37	2.89	3.07	10
Nitrite (mgN/L)	0	0.80	0.86	0.95	0.86	-
Nitrate (mgN/L)	0	7.91	7.25	6.42	5.97	-
TKN (mgN/L)	40	4.00	4.05	4.55	4.74	-
TN (mgN/L)	40	12.72	12.15	11.92	11.57	-
TP (mgP/L)	10	5.19	4.58	3.97	2.84	-

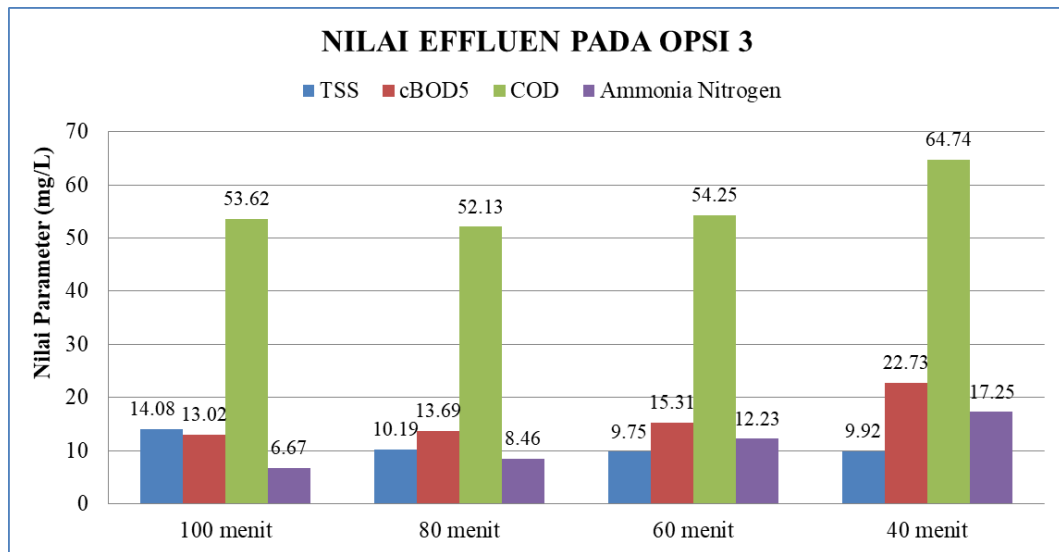


Hasil simulasi optimasi durasi aerasi pada opsi 3 untuk parameter TSS terjadi penurunan pada durasi aerasi 80 menit dan 60 menit, namun mengalami sedikit kenaikan pada menit ke 40. Lalu untuk parameter COD menit ke 80 merupakan nilai terendah dibandingkan durasi aerasi lainnya, kenaikan terjadi

pada menit ke 60 dan 40 mencapai 54.25 mg/L dan 64.74 mg/L. Kenaikan nilai efluen terlihat pada parameter BOD dan amonia yang seiring dengan berkurangnya durasi aerasi peningkatan nilai efluen parameter tersebut ikut meningkat, menyebabkan nilai tersebut melebihi baku mutu air limbah untuk batas parameter amonia, yaitu sebesar 10 mg/L sedangkan nilai parameter amonia hasil simulasi pada menit ke 60 dan 40 adalah 12.23 mg/L dan 17.25 mg/L. Berikut ini merupakan tabel hasil simulasi untuk opsi 3.

Tabel 4. 5 Perbandingan Efluen pada Pengurangan Durasi Aerasi Opsi Tiga

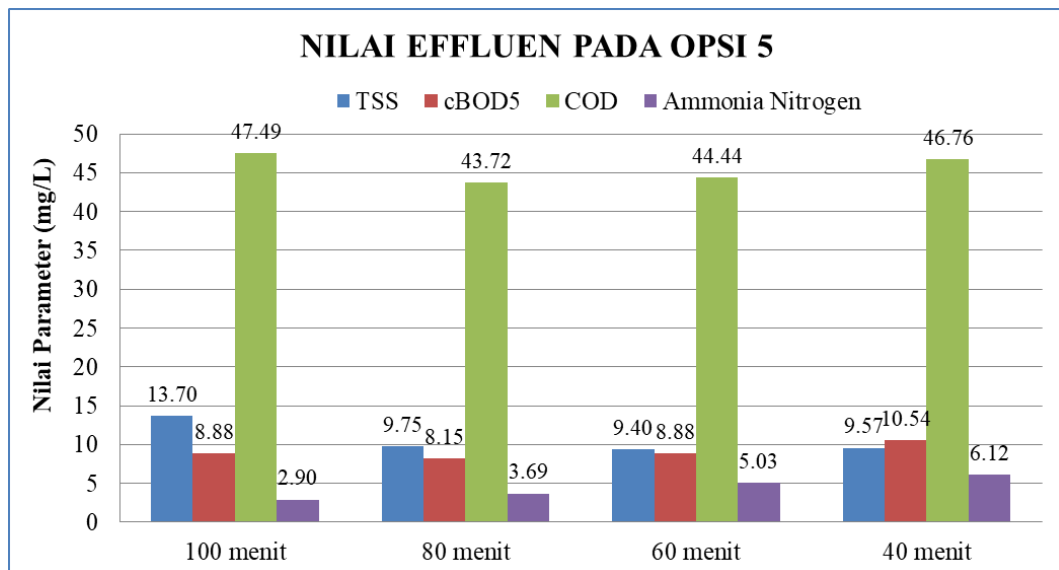
Parameter	Influent	Opsi 3				BMAL
		100 menit	80 menit	60 menit	40 menit	
Flow (m ³ /d)	1000	1000	1000	1000	1000	-
TSS (mg/L)	210	14.08	10.19	9.75	9.92	30
VSS (mg/L)	160	9.61	7.24	7.01	7.03	-
cBOD5 (mgO ₂ /L)	190	13.02	13.69	15.31	22.73	30
COD (mgCOD/L)	430	53.62	52.13	54.25	64.74	100
Ammonia Nitrogen (mgN/L)	25	6.67	8.46	12.23	17.25	10
Nitrite (mgN/L)	0	0.50	0.42	0.29	0.15	-
Nitrate (mgN/L)	0	0.32	0.20	0.08	0.03	-
TKN (mgN/L)	40	8.69	10.23	13.95	18.95	-
TN (mgN/L)	40	9.50	10.85	14.31	19.13	-
TP (mgP/L)	10	5.54	9.29	9.89	10.68	-



Dari efluen hasil simulasi yang ditunjukkan pada tabel dan gambar bawah ini menunjukkan bahwa parameter efluen pada optimasi durasi aerasi untuk opsi ini tidak terdapat parameter yang melebihi baku mutu air limbah. Sama seperti yang terjadi pada opsi siklus 3, peningkatan nilai efluen pada parameter COD dan amonia terjadi seiring dengan berkurangnya durasi aerasi, namun pada opsi siklus ini nilainya tidak melebihi baku. Ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4. 6 Perbandingan Efluen pada Pengurangan Durasi Aerasi Opsi Lima

Parameter	Influent	Ops 5				BMAL
		100 menit	80 menit	60 menit	40 menit	
Flow (m ³ /d)	1000	1000	1000	1000	1000	-
TSS (mg/L)	210	13.70	9.75	9.40	9.57	30
VSS (mg/L)	160	9.10	6.43	6.21	6.20	-
cBOD5 (mgO ₂ /L)	190	8.88	8.15	8.88	10.54	30
COD (mgCOD/L)	430	47.49	43.72	44.44	46.76	100
Ammonia Nitrogen (mgN/L)	25	2.90	3.69	5.03	6.12	10
Nitrite (mgN/L)	0	0.90	0.95	0.92	0.63	-
Nitrate (mgN/L)	0	4.64	3.27	1.69	0.67	-
TKN (mgN/L)	40	4.83	5.38	6.73	7.85	-
TN (mgN/L)	40	10.36	9.60	9.34	9.15	-
TP (mgP/L)	10	2.16	1.08	0.66	0.66	-



Dari masing-masing optimasi terhadap opsi 1,3, dan 5. Diketahui bahwa opsi siklus 3 hanya dapat dioptimasi menjadi 80 menit durasi aerasinya karena efluen pada hasil optimasi durasi aerasi 60 dan 40 menit parameter amonia opsi tersebut melebihi baku mutu. Berbeda dengan opsi siklus 1 optimasi durasi aerasi dapat dilakukan hingga menit ke 40 tanpa adanya parameter yang melebihi baku mutu air limbah, begitu juga dengan opsi siklus 5 yang dapat menghasilkan nilai efluen yang tidak melebihi baku mutu.

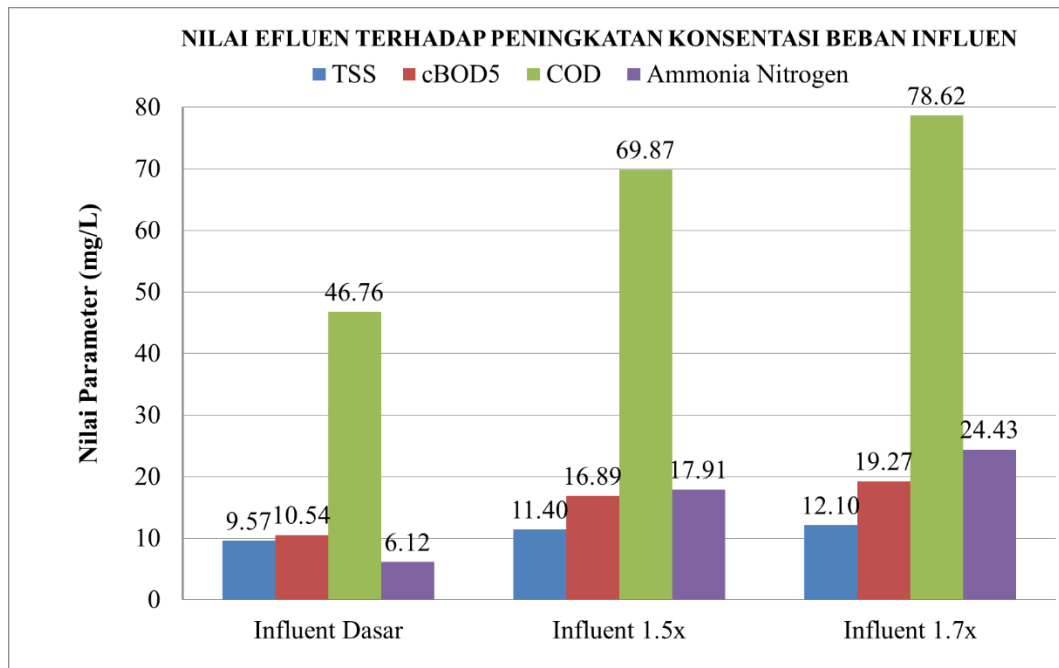
Namun total durasi aerasi keseluruhan pada siklus yang dimiliki oleh opsi 1 dan 5 memiliki jumlah yang berbeda. Pada opsi 1 memiliki durasi aerasi 90 menit pada fase pengisian jika ditambahkan dengan hasil optimasi durasi aerasi yang sudah disimulasikan senilai 40 menit opsi 1 memiliki total durasi aerasi pada siklus sebesar 130 menit. Sedangkan pada opsi 5 yang memiliki durasi aerasi pada fase pengisian sebesar 45 menit ketika ditambahkan dengan hasil optimasi durasi aerasi senilai 40 menit, total keseluruhan durasi aerasinya menjadi 85 menit pada satu siklus. Sehingga dari hasil skenario durasi pada siklus dan aerasi yang sudah disimulasikan menunjukkan bahwa opsi 5 yang memiliki durasi aerasi yang tersingkat dengan nilai efluen yang memenuhi baku mutu air limbah.

4.7 Simulasi Performa Siklus dan Durasi Aerasi Optimum pada Unit SBR

Setelah dilakukan simulasi skenario pada durasi siklus dan optimasi aerasi, opsi 5 dengan total aerasi pada siklusnya selama 85 menit. Opsi tersebut berikutnya akan dilakukan simulasi penambahan beban konsentrasi influen sebesar 1.5x kali dan 1.7x untuk mengetahui performa IPAL dalam mengolah air limbah yang dengan konsentrasi influen yang bertambah. Berikut tabel hasil simulasinya.

Tabel 4. 7 Performa IPAL pada Peningkatan Konsentrasi Influen

Parameter	Konsentrasi Dasar		Konsentrasi 1.5x		Konsentrasi 1.7x		BMAL
	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	
Flow (m ³ /d)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	-
TSS (mg/L)	210	9.57	315	11.40	357	12.10	30
VSS (mg/L)	160	6.20	240	8.27	272	8.77	-
cBOD ₅ (mgO ₂ /L)	190	10.54	285	16.89	323	19.27	30
COD (mgCOD/L)	430	46.76	645	69.87	731	78.62	100
Ammonia Nitrogen (mgN/L)	25	6.12	37.5	17.91	42.5	24.43	10
Nitrite (mgN/L)	0	0.63	0	0.43	0	0.35	-
Nitrate (mgN/L)	0	0.67	0	0.15	0	0.10	-
TKN (mgN/L)	40	7.85	60	19.87	68	26.47	-
TN (mgN/L)	40	9.15	60	20.46	68	26.92	-
TP (mgP/L)	10	0.66	15	13.04	17	14.32	-



Dari hasil simulasi skenario penambahan konsentrasi beban influen sebesar 1.5x dan 1.7x dari beban dasar, terlihat bahwa nilai efluen parameter TSS, cBOD, dan COD tidak melebihi baku mutu, namun hanya untuk parameter amonia terjadi peningkatan yang cukup besar menjadi 17.91 mg/L untuk konsentrasi beban influen 1.5x dan 24.43 mg/L untuk beban konsentrasi influen 1.7x.

Dengan begitu siklus opsi 5 yang memiliki durasi aerasi total 85 menit memberikan performa yang tidak optimal untuk menyisihkan parameter ammonia jika konsentrasi beban influen bertambah 1.5x atau 1.7x lebih besar dari konsentrasi beban dasar.

4.8 Perbandingan Biaya Operasional pada Durasi Siklus Unit SBR

Pada operasional *blower* yang digunakan pada unit SBR di GPS-X tidak terdapat spesifikasi voltase yang digunakan. Hanya diketahui jumlah udara yang masuk kedalam tangki ketika proses aerasi yaitu sebesar 5.278 m³/menit dan penurunan tekanan dalam filter saluran masuk dan pemipaan ke *blower* sebesar 1 kPa, maka spesifikasi yang tersedia disesuaikan dengan *blower* udara yang tersedia di pasaran, digunakan *blower* tipe *three lobes root blower* MRT-100

dengan kapasitas 5.91 m³/menit dengan energi sebesar 5.07 kW. Berikut ini tabel spesifikasi blower udara yang terdapat pada GPS-X.

Tabel 4. 8 Spesifikasi Blower udara yang Terdapat pada GPS-X

<i>Aeration Setup</i>		
<i>Aeration method</i>	<i>Diffused Air</i>	-
<i>Oxygen transfer by</i>	<i>Entering Airflow</i>	-
<i>Pressure drop in inlet filters and piping to blower</i>	1	<i>kPa</i>
<i>Air flow into aeration tank</i>	7600	<i>m³/d</i>
	5.278	<i>m³/min</i>

Pehitungan biaya pengeluaran sebelum dan sesudah optimasi durasi aerasi dilakukan dijelaskan sebagai berikut.

- Sebelum optimasi durasi aerasi

Jumlah blower pada IPAL = 2

Durasi Operasi = 1 siklus/hari

Durasi Aerasi = 45 menit (fase pengisian) + 120 menit (fase reaksi)

= 165 menit

= 2.75 jam/hari

Pompa udara/*blower* = 2 x 5.07 kW = 10.14 kW

Jumlah kWh/hari = 10.14 kw x 2.75 jam = 27.89 kWh/hari

Harga Listrik/kWh = Rp 1444.70/ kWh (Gol. P-1/TR, Tahun 2021)

Total biaya listrik = 27.885 kWh x Rp 1444.70,-/ kWh

= Rp 40.285.45,- / Hari

Total biaya listrik perbulan = 30 hari x Rp 40.285.45,-

= Rp 1.208.564,- /Bulan

- Sesudah optimasi durasi aerasi

Jumlah blower pada IPAL = 2

Durasi Operasi = 1 siklus/hari

Durasi Aerasi = 45 menit (fase pengisian) + 40 menit (fase reaksi)
= 85 menit

= 1.42 Jam/Hari

Pompa udara/blower = 2 x 5.07 kW = 10.14 kW

Jumlah kWh/hari = 10.14 kw x 1.583 jam = 14.37 kWh/hari

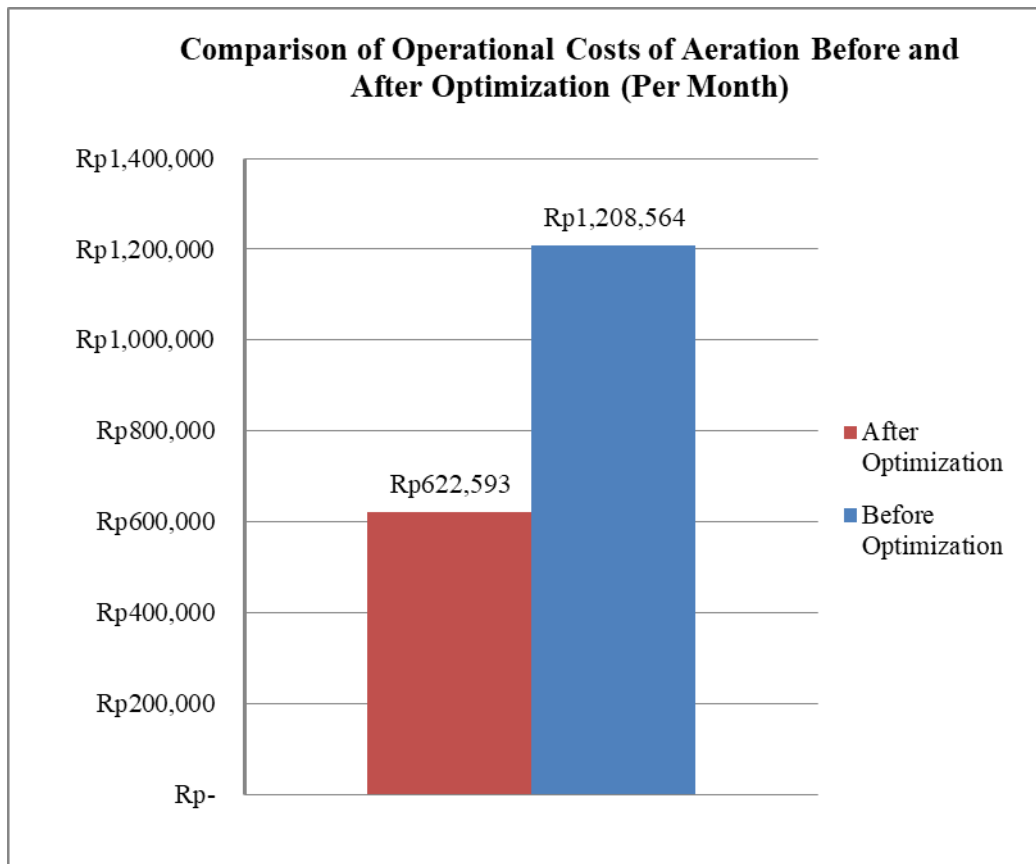
Harga Listrik/kWh = Rp 1444.70/ kWh (Gol. P-1/TR, Tahun 2021)

Total biaya listrik = 16.05 kWh x Rp 1444.70,- / kWh

= Rp 20.753- / Hari

Total biaya listrik perbulan = 30 hari x Rp 23.189.77,-

= Rp 695.693,- / Bulan



Gambar 4. 6 Perbandingan Biaya Listrik Sebelum dan Sesudah Optimalisasi

Dari perhitungan kebutuhan dan biaya listrik antara siklus yang belum dioptimasi dengan yang sudah, diketahui bahwa masing-masing memiliki nilai yang berbeda. Kebutuhan listrik sebelum dioptimasi sebesar 27.89 kWh/hari yang berasal dari 2 unit pompa yang beroperasi selama 2.75 jam/hari, (45 menit aerasi pada fase pengisian ditambah 120 menit pada fase reaksi). Durasi aerasi pada siklus yang sudah dioptimasi lebih singkat yaitu selama 1.42 jam/hari (45 menit pada fase pengisian ditambah 40 menit pada fase reaksi). Kemudian kebutuhan listrik dikalikan dengan biaya listrik yaitu Rp. 1.444,70/kWh pada tahun 2021 dengan golongan P-1/TR, sehingga biaya yang diperlukan untuk aerasi selama satu hari sebesar Rp. 40.285 dan Rp1.208.564 selama satu bulan sebelum optimasi sedangkan pada siklus yang sudah dioptimasi sebesar Rp. 20.753,- perhari dan Rp. 622.593 perbulannya. Selisih biaya sebelum dan sesudah siklus dilakukan optimasi senilai Rp. 585.970 perbulan, maka optimasi pada durasi

aerasi mengurangi biaya penggunaan listrik sebesar 48% hampir setengahnya dari biaya yang dikeluarkan siklus tanpa optimasi.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari analisis dan pembahasan hasil simulasi model menggunakan *software* GPS-X pada bab hasil dan pembahasan sebelumnya adalah sebagai berikut:

1. Langkah pertama membuat model dari instalasi IPAL yang akan disimulasikan, Memasukan data input dan kalibrasi pada parameter kualitas air limbah, berikutnya sesuaikan nilai input desain unit-unit IPAL dengan kriteria desain. Kemudian untuk melakukan simulasi pindahkan mode menjadi *Simulation Mode*, Apabila muncul pemberitahuan model tidak sesuai atau salah, periksa kembali data input model dan susunannya lalu perbaiki. Atur kondisi fluktuasi air limbah menjadi unsteady state, lalu atur stop time simulasi. Terakhir tekan *Start* dan tunggu hingga proses simulasi selesai.
2. Dari hasil simulasi model, opsi siklus 5 menunjukkan performa pengolahan air limbah terbaik dan durasi total aerasi tersingkat diantara opsi lainnya.
3. Durasi aerasi optimum diperoleh pada opsi 5 dengan periode waktu sebesar 85 menit setelah dilakukan optimalisasi, 45 menit pada fase pengisian dan 40 menit pada fase reaksi.
4. Hasil simulasi opsi 5 yang memiliki durasi aerasi 85 menit pada skenario konsentrasi beban influen bertambah sebesar 1.5x dan 1.7x, menunjukkan bahwa nilai yang melebihi baku mutu hanya terdapat pada parameter amonia.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini untuk pengembangan selanjutnya adalah:

1. Meningkatkan total durasi keseluruhan pada siklus. Sehingga durasi pada masing-masing fase dapat ditingkatkan.

2. Membuat durasi pada fase siklus lebih bervariasi. Terutama pada fase pengisian, fase reaksi, dan fase pengendapan (*settling*).
3. Mengembangkan optimasi unit SBR berdasarkan input parameter dan input operasional lainnya, untuk mengetahui performa pengolahannya.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdel Kader, A.M., 2009. **Comparison study between sequencing batch reactor and conventional activated sludge by using simulation mathematical model.** In *Thirteenth International Water Technology Conference* p. 693-702.
- Abou-Elela, S.I., Hamdy, O. and El Monayeri, O., 2016. **Modeling and simulation of hybrid anaerobic/aerobic wastewater treatment system.** *International journal of environmental science and technology*, 13(5), p.1289-1298.
- Asmah, L.Q., 2016. *Sustainable Improvements for Jenin Wastewater Treatment Plant.* An-Najah National University
- Atlas, R.M & Bartha, R. 1998. **Microbia Ecology, Fundamental and Application.** New York: *The Benjamin Cummings Publishing Company*
- Bis, M., Montusiewicz, A., Piotrowicz, A. and Łagód, G., 2019. **Modeling of wastewater treatment processes in membrane bioreactors compared to conventional activated sludge systems.** *Processes*, 7(5), p.285.
- Brenner, A., 1997. **Use of computers for process design analysis and control: Sequencing batch reactor application.** *Water Science and Technology*, 35(1), pp.95-104.
- Coelho, M.A.Z., Russo, C. and Araujo, O.Q.F., 2000. **Optimization of a sequencing batch reactor for biological nitrogen removal.** *Water Research*, 34(10), p.2809-2817.
- Drewnowski, J., Remiszewska-Skwarek, A. and Fernandez-Morales, F.J., 2018. **Model based evaluation of plant improvement at a large wastewater treatment plant (WWTP).** *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 53(7), p.669-675.
- Filali-Meknassi, Y., Auriol, M., Tyagi, R.D. and Surampalli, R.Y., 2004. **Treatment of slaughterhouse wastewater in a sequencing batch reactor: simulation vs experimental studies.** *Environmental technology*, 25(1), p.23-38.
- Gernaey, K.V., van Loosdrecht, M.C., Henze, M., Lind, M. and Jørgensen, S.B., 2004. **Activated sludge wastewater treatment plant modelling and simulation: state of the art.** *Environmental modelling & software*, 19(9),

pp.763-783.Kementrian LHK Republik Indonesia. 2017. **Petunjuk teknis restorasi kualitas air sungai.**Jakarta

GPS-X. 2008. **Hydromantis Inc. Hamilton, ON, Canada.**
(<http://www.hydromantis.com>)

Hadiwidodo, M. and Junaidi, J., 2007. **Pengaruh Waktu Reaksi Dan Waktu Tinggal Stabilisasi Pada Sequencing Batch Reactor Aerob Dengan Penambahan Karbon Aktif Terhadap Penurunan Chemical Oxygen Demand.** *Jurnal PRESIPITASI*, 3(2), p.67-72.

Hvala, N., Vrečko, D., Levstek, M. and Bordon, C., 2017. **The use of dynamic mathematical models for improving the designs of upgraded wastewater treatment plants.** *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 5(1), p.15-31.

Jafarinejad, S., 2019. **Simulation for the performance and economic evaluation of conventional activated sludge process replacing by sequencing batch reactor technology in a petroleum refinery wastewater treatment plant.** *ChemEngineering*, 3(2), p.45.

Łagód, G., Piotrowicz, A., Gleń, P., Drewnowski, J. and Sabba, F., 2019. **Modelling of sequencing batch reactor operating at various aeration modes.** In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 252, pp. 05013-05018).

Latif, E.F., Elmolla, E.S., Mahmoud, U.F. and Saleh, M.M., 2020. **Intermittent cycle extended aeration system pilot scale (ICEAS-PS) for wastewater treatment: experimental results and process simulation.** *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(6), p.3261-3270.

Metcalf, E. 2003. **Inc., Wastewater Engineering, Treatment and Reuse.** New York: McGraw-Hill.

Nasr, M.S., Moustafa, M.A., Seif, H.A. and El Kobrosy, G., 2011. **Modelling and simulation of German BIOGEST/EL-AGAMY wastewater treatment plants–Egypt using GPS-X simulator.** *Alexandria Engineering Journal*, 50(4), p.351-357.

Nowrouzi, M., Abyar, H. and Rostami, A., 2021. **Cost coupled removal efficiency analyses of activated sludge technologies to achieve the cost-effective wastewater treatment system in the meat processing units.** *Journal of Environmental Management*, 283, p.111991.

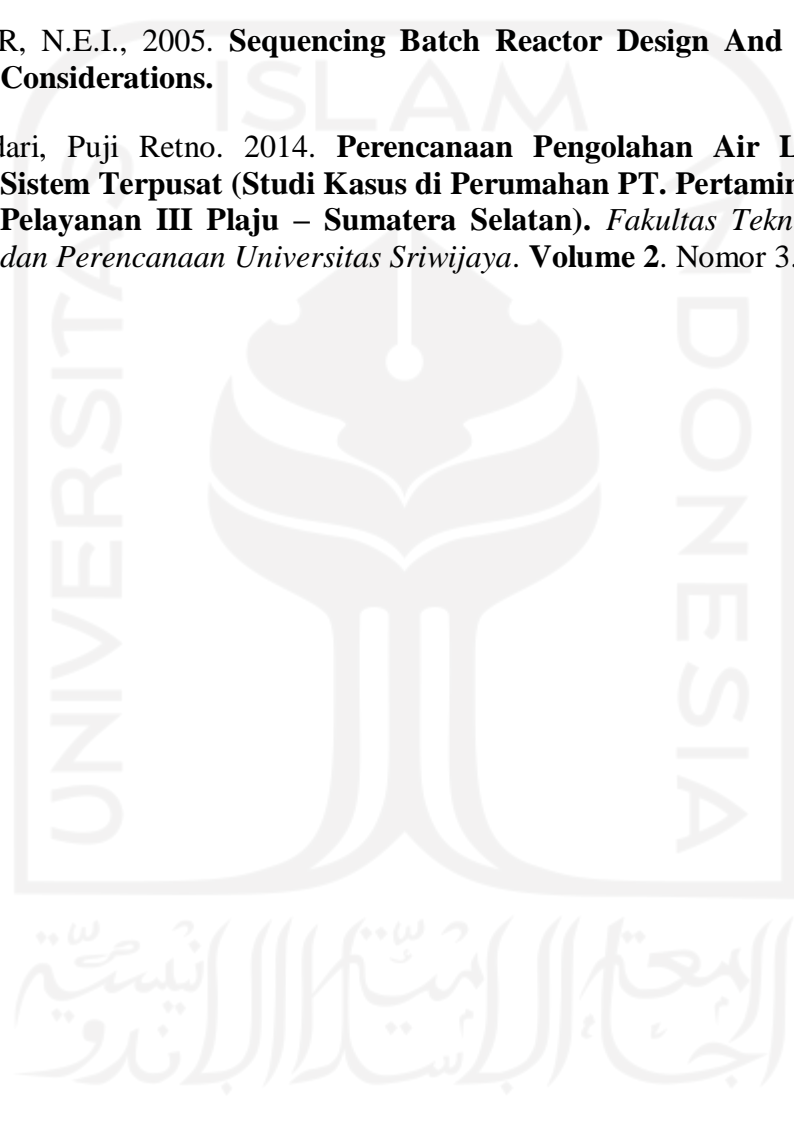
Nugroho, A., 2012. **Biodegradasi sludge minyak bumi dalam skala mikrokosmos: simulasi sederhana sebagai kajian awal bioremediasi land treatment.** *Makara Journal of Technology*, 10(2), p.148539.

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2016). **Permen LHK No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik**. Indonesia.

Shaw, A., Watts, J., Fairey, A.W. and Iler, M., 2009. **Intelligent Sequencing Batch Reactor Control From Theory, Through Modelling, to Full-Scale Application**. *Water Science & Technology*, p. 59

WATER, N.E.I., 2005. **Sequencing Batch Reactor Design And Operational Considerations**.

Wulandari, Puji Retno. 2014. **Perencanaan Pengolahan Air Limbah Sistem Terpusat (Studi Kasus di Perumahan PT. Pertamina Unit Pelayanan III Plaju – Sumatera Selatan)**. *Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Sriwijaya*. **Volume 2**. Nomor 3.



LAMPIRAN

Hasil simulasi skenario durasi pada siklus

Hasil Simulasi Siklus Opsi 1							
Parameter	rawinf	eqtankoff	gritoff	effsbpump1	effsbrpump2	effluent	BMAL
Flow (m3/d)	1000	1000	1000	500	500	1000	-
TSS (mg/L)	210	210	190	13.04	13.04	13.04	30
VSS (mg/L)	160	160	160	9.06	9.06	9.06	-
cBOD5 (mgO2/L)	190	190	190	7.97	7.97	7.97	30
COD (mgCOD/L)	430	430	430	46.21	46.21	46.21	100
Ammonia Nitrogen (mgN/L)	25	25	25	1.88	1.88	1.88	10
Nitrite (mgN/L)	0	0	0	0.79	0.79	0.79	-
Nitrate (mgN/L)	0	0	0	8.47	8.47	8.47	-
TKN (mgN/L)	40	40	40	3.78	3.78	3.78	-
TN (mgN/L)	40	40	40	13.03	13.03	13.03	-
TP (mgP/L)	10	10	10	5.58	5.58	5.58	-

Hasil Simulasi Siklus Opsi 2							
Parameter	rawinf	eqtankoff	gritoff	effsbpump1	effsbrpump2	effluent	BMAL
Flow (m3/d)	1000	1000	1000	500	500	1000	-
TSS (mg/L)	210	210	190	13.45	13.45	13.45	30
VSS (mg/L)	160	160	160	9.76	9.76	9.76	-

cBOD5 (mgO2/L)	190	190	190	13.82	13.82	13.82	30
COD (mgCOD/L)	430	430	430	54.79	54.79	54.79	100
Ammonia Nitrogen (mgN/L)	25	25	25	8.68	8.68	8.68	10
Nitrite (mgN/L)	0	0	0	0.07	0.07	0.07	-
Nitrate (mgN/L)	0	0	0	0.06	0.06	0.06	-
TKN (mgN/L)	40	40	40	10.63	10.63	10.63	-
TN (mgN/L)	40	40	40	10.75	10.75	10.75	-
TP (mgP/L)	10	10	10	9.41	9.41	9.41	-

Hasil Simulasi Siklus Opsi 3

Parameter	rawinf	eqtankoff	gritoff	effsbpump1	effsbrpump2	effluent	BMAL
Flow (m3/d)	1000	1000	1000	500	500	1000	-
TSS (mg/L)	210	210	190	13.38	13.38	13.38	30
VSS (mg/L)	160	160	160	8.68	8.68	8.68	-
cBOD5 (mgO2/L)	190	190	190	11.48	11.48	11.48	30
COD (mgCOD/L)	430	430	430	50.70	50.70	50.70	100
Ammonia Nitrogen (mgN/L)	25	25	25	5.21	5.21	5.21	10
Nitrite (mgN/L)	0	0	0	0.57	0.57	0.57	-
Nitrate (mgN/L)	0	0	0	0.46	0.46	0.46	-
TKN (mgN/L)	40	40	40	7.19	7.19	7.19	-

TN (mgN/L)	40	40	40	8.21	8.21	8.21	-
TP (mgP/L)	10	10	10	0.74	0.74	0.74	-

Parameter	Hasil Simulasi Siklus Opsi 4						
	rawinf	eqtankoff	gritoff	effsbpump1	effsbrpump2	effluent	BMAL
Flow (m3/d)	1000	1000	1000	500	500	1000	-
TSS (mg/L)	210	210	190	15.09	15.09	15.09	30
VSS (mg/L)	160	160	160	11.07	11.07	11.07	-
cBOD5 (mgO2/L)	190	190	190	97.83	97.83	97.83	30
COD (mgCOD/L)	430	430	430	173.60	173.60	173.60	100
Ammonia Nitrogen (mgN/L)	25	25	25	27.74	27.74	27.74	10
Nitrite (mgN/L)	0	0	0	0.00	0.00	0.00	-
Nitrate (mgN/L)	0	0	0	0.00	0.00	0.00	-
TKN (mgN/L)	40	40	40	30.02	30.02	30.02	-
TN (mgN/L)	40	40	40	30.02	30.02	30.02	-
TP (mgP/L)	10	10	10	11.47	11.47	11.47	-

Hasil Simulasi Siklus Opsi 5							
Parameter	rawinf	eqtankoff	gritoff	effsbpump1	effsbrpump2	effluent	BMAL
Flow (m3/d)	1000	1000	1000	500	500	1000	-
TSS (mg/L)	210	210	190	13.09	13.09	13.09	30
VSS (mg/L)	160	160	160	8.82	8.82	8.82	-
cBOD5 (mgO2/L)	190	190	190	8.37	8.37	8.37	30
COD (mgCOD/L)	430	430	430	46.51	46.51	46.51	100
Ammonia Nitrogen (mgN/L)	25	25	25	2.45	2.45	2.45	10
Nitrite (mgN/L)	0	0	0	0.88	0.88	0.88	-
Nitrate (mgN/L)	0	0	0	5.71	5.71	5.71	-
TKN (mgN/L)	40	40	40	4.34	4.34	4.34	-
TN (mgN/L)	40	40	40	10.93	10.93	10.93	-
TP (mgP/L)	10	10	10	3.20	3.20	3.20	-

Hasil Simulasi Siklus Opsi 6							
Parameter	rawinf	eqtankoff	gritoff	effsbpump1	effsbrpump2	effluent	BML
Flow (m3/d)	1000	1000	1000	500	500	1000	-
TSS (mg/L)	210	210	190	13.54	13.54	13.54	30
VSS (mg/L)	160	160	160	9.66	9.66	9.66	-
cBOD5 (mgO2/L)	190	190	190	30.66	30.66	30.66	30
COD (mgCOD/L)	430	430	430	78.77	78.77	78.77	100

Ammonia Nitrogen (mgN/L)	25	25	25	19.40	19.40	19.40	10
Nitrite (mgN/L)	0	0	0	0.00	0.00	0.00	-
Nitrate (mgN/L)	0	0	0	0.00	0.00	0.00	-
TKN (mgN/L)	40	40	40	21.27	21.27	21.27	-
TN (mgN/L)	40	40	40	21.27	21.27	21.27	-
TP (mgP/L)	10	10	10	10.59	10.59	10.59	-

Hasil simulasi skenario optimasi pada durasi aerasi

Parameter	Hasil Simulasi Siklus Opsi 1 dengan Durasi Aerasi 100 menit						
	rawinf	eqtankoff	gritoff	effsbpump1	effsbrpump2	effluent	BMAL
Flow (m3/d)	1000	1000	1000	500	500	1000	-
TSS (mg/L)	210	210	190	13.62	13.62	13.62	30
VSS (mg/L)	160	160	160	9.41	9.41	9.41	-
cBOD5 (mgO2/L)	190	190	190	8.35	8.35	8.35	30
COD (mgCOD/L)	430	430	430	47.10	47.10	47.10	100
Ammonia Nitrogen (mgN/L)	25	25	25	2.07	2.07	2.07	10
Nitrite (mgN/L)	0	0	0	0.80	0.80	0.80	-
Nitrate (mgN/L)	0	0	0	7.91	7.91	7.91	-
TKN (mgN/L)	40	40	40	4.00	4.00	4.00	-
TN (mgN/L)	40	40	40	12.72	12.72	12.72	-
TP (mgP/L)	10	10	10	5.19	5.19	5.19	-

Hasil Simulasi Siklus Opsi 1 dengan Durasi Aerasi 80 menit							
Parameter	rawinf	eqtankoff	gritoff	effsbpump1	effsbrpump2	effluent	BMAL
Flow (m3/d)	1000	1000	1000	500	500	1000	-
TSS (mg/L)	210	210	190	9.67	9.67	9.67	30
VSS (mg/L)	160	160	160	6.66	6.66	6.66	-
cBOD5 (mgO2/L)	190	190	190	7.34	7.34	7.34	30
COD (mgCOD/L)	430	430	430	42.86	42.86	42.86	100
Ammonia Nitrogen (mgN/L)	25	25	25	2.37	2.37	2.37	10
Nitrite (mgN/L)	0	0	0	0.86	0.86	0.86	-
Nitrate (mgN/L)	0	0	0	7.25	7.25	7.25	-
TKN (mgN/L)	40	40	40	4.05	4.05	4.05	-
TN (mgN/L)	40	40	40	12.15	12.15	12.15	-
TP (mgP/L)	10	10	10	4.58	4.58	4.58	-

Hasil Simulasi Siklus Opsi 1 dengan durasi aerasi 60 menit							
Parameter	rawinf	eqtankoff	gritoff	effsbpump1	effsbrpump2	effluent	BMAL
Flow (m3/d)	1000	1000	1000	500	500	1000	-
TSS (mg/L)	210	210	190	9.28	9.28	9.28	30
VSS (mg/L)	160	160	160	6.40	6.40	6.40	-
cBOD5 (mgO2/L)	190	190	190	7.58	7.58	7.58	30
COD (mgCOD/L)	430	430	430	42.86	42.86	42.86	100

Ammonia Nitrogen (mgN/L)	25	25	25	2.89	2.89	2.89	10
Nitrite (mgN/L)	0	0	0	0.95	0.95	0.95	-
Nitrate (mgN/L)	0	0	0	6.42	6.42	6.42	-
TKN (mgN/L)	40	40	40	4.55	4.55	4.55	-
TN (mgN/L)	40	40	40	11.92	11.92	11.92	-
TP (mgP/L)	10	10	10	3.97	3.97	3.97	-

Parameter	Hasil Simulasi Siklus Opsi 1 dengan durasi aerasi 40 menit						BMAL
	rawinf	eqtankoff	gritoff	effsbpump1	effsbrpump2	effluent	
Flow (m3/d)	1000	1000	1000	500	500	1000	-
TSS (mg/L)	210	210	190	9.32	9.32	9.32	30
VSS (mg/L)	160	160	160	6.27	6.27	6.27	-
cBOD5 (mgO2/L)	190	190	190	7.91	7.91	7.91	30
COD (mgCOD/L)	430	430	430	43.25	43.25	43.25	100
Ammonia Nitrogen (mgN/L)	25	25	25	3.07	3.07	3.07	10
Nitrite (mgN/L)	0	0	0	0.86	0.86	0.86	-
Nitrate (mgN/L)	0	0	0	5.97	5.97	5.97	-
TKN (mgN/L)	40	40	40	4.74	4.74	4.74	-
TN (mgN/L)	40	40	40	11.57	11.57	11.57	-
TP (mgP/L)	10	10	10	2.84	2.84	2.84	-

Hasil Simulasi Siklus Opsi 3 dengan durasi aerasi 100 menit							
Parameter	rawinf	eqtankoff	gritoff	effsbpump1	effsbrpump2	effluent	BMAL
Flow (m3/d)	1000	1000	1000	500	500	1000	-
TSS (mg/L)	210	210	190	14.08	14.08	14.08	30
VSS (mg/L)	160	160	160	9.61	9.61	9.61	-
cBOD5 (mgO2/L)	190	190	190	13.02	13.02	13.02	30
COD (mgCOD/L)	430	430	430	53.62	53.62	53.62	100
Ammonia Nitrogen (mgN/L)	25	25	25	6.67	6.67	6.67	10
Nitrite (mgN/L)	0	0	0	0.50	0.50	0.50	-
Nitrate (mgN/L)	0	0	0	0.32	0.32	0.32	-
TKN (mgN/L)	40	40	40	8.69	8.69	8.69	-
TN (mgN/L)	40	40	40	9.50	9.50	9.50	-
TP (mgP/L)	10	10	10	5.54	5.54	5.54	-

Hasil Simulasi Siklus Opsi 3 dengan durasi aerasi 80 menit							
Parameter	rawinf	eqtankoff	gritoff	effsbpump1	effsbrpump2	effluent	BMAL
Flow (m3/d)	1000	1000	1000	500	500	1000	-
TSS (mg/L)	210.004	210	190	10.19	10.19	10.19	30
VSS (mg/L)	160	160	160	7.24	7.24	7.24	-
cBOD5 (mgO2/L)	189.999	190	190	13.69	13.69	13.69	30
COD (mgCOD/L)	430	430	430	52.13	52.13	52.13	100

Ammonia Nitrogen (mgN/L)	25	25	25	8.46	8.46	8.46	10
Nitrite (mgN/L)	0	0	0	0.42	0.42	0.42	-
Nitrate (mgN/L)	0	0	0	0.20	0.20	0.20	-
TKN (mgN/L)	40	40	40	10.23	10.23	10.23	-
TN (mgN/L)	40	40	40	10.85	10.85	10.85	-
TP (mgP/L)	10	10	10	9.29	9.29	9.29	-

Hasil Simulasi Siklus Opsi 3 dengan durasi aerasi 60 menit							
Parameter	rawinf	eqtankoff	gritoff	effsbpump1	effsbrpump2	effluent	BMAL
Flow (m3/d)	1000	1000	1000.0	500	500	1000	-
TSS (mg/L)	210	210	190	9.75	9.75	9.75	30
VSS (mg/L)	160	160	160	7.01	7.01	7.01	-
cBOD5 (mgO2/L)	190	190	190	15.31	15.31	15.31	30
COD (mgCOD/L)	430	430	430	54.25	54.25	54.25	100
Ammonia Nitrogen (mgN/L)	25	25	25	12.23	12.23	12.23	10
Nitrite (mgN/L)	0	0	0	0.29	0.29	0.29	-
Nitrate (mgN/L)	0	0	0	0.08	0.08	0.08	-
TKN (mgN/L)	40	40	40	13.95	13.95	13.95	-
TN (mgN/L)	40	40	40	14.31	14.31	14.31	-
TP (mgP/L)	10	10	10	9.89	9.89	9.89	-

Hasil Simulasi Siklus Opsi 3 dengan durasi aerasi 40 menit							
Parameter	rawinf	eqtankoff	gritoff	effsbpump1	effsbrpump2	effluent	BMAL
Flow (m3/d)	1000	1000	1000	500	500	1000	-
TSS (mg/L)	210.004	210	190	9.92	9.92	9.92	30
VSS (mg/L)	160.023	160	160	7.03	7.03	7.03	-
cBOD5 (mgO2/L)	189.999	190	190	22.73	22.73	22.73	30
COD (mgCOD/L)	430	430	430	64.74	64.74	64.74	100
Ammonia Nitrogen (mgN/L)	25	25	25	17.25	17.25	17.25	10
Nitrite (mgN/L)	0	0	0	0.15	0.15	0.15	-
Nitrate (mgN/L)	0	0	0	0.03	0.03	0.03	-
TKN (mgN/L)	40	40	40	18.95	18.95	18.95	-
TN (mgN/L)	40	40	40	19.13	19.13	19.13	-
TP (mgP/L)	10	10	10	10.68	10.68	10.68	-

Hasil Simulasi Siklus Opsi 5 dengan durasi aerasi 100 menit							
Parameter	rawinf	eqtankoff	gritoff	effsbpump1	effsbrpump2	effluent	BMAL
Flow (m3/d)	1000	1000	1000	500	500	1000	-
TSS (mg/L)	210	210	190	13.70	13.70	13.70	30
VSS (mg/L)	160	160	160	9.10	9.10	9.10	-
cBOD5 (mgO2/L)	190	190	190	8.88	8.88	8.88	30
COD (mgCOD/L)	430	430	430	47.49	47.49	47.49	100

Ammonia Nitrogen (mgN/L)	25	25	25	2.90	2.90	2.90	10
Nitrite (mgN/L)	0	0	0	0.90	0.90	0.90	-
Nitrate (mgN/L)	0	0	0	4.64	4.64	4.64	-
TKN (mgN/L)	40	40	40	4.83	4.83	4.83	-
TN (mgN/L)	40	40	40	10.36	10.36	10.36	-
TP (mgP/L)	10	10	10	2.16	2.16	2.16	-

Hasil Simulasi Siklus Opsi 5 dengan durasi aerasi 80 menit							
Parameter	rawinf	eqtankoff	gritoff	effsbpump1	effsbrpump2	effluent	BMAL
Flow (m3/d)	1000	1000	1000	500	500	1000	-
TSS (mg/L)	210.004	210	190	9.75	9.75	9.75	30
VSS (mg/L)	160	160	160	6.43	6.43	6.43	-
cBOD5 (mgO2/L)	189.999	190	190	8.15	8.15	8.15	30
COD (mgCOD/L)	430	430	430	43.72	43.72	43.72	100
Ammonia Nitrogen (mgN/L)	25	25	25	3.69	3.69	3.69	10
Nitrite (mgN/L)	0	0	0	0.95	0.95	0.95	-
Nitrate (mgN/L)	0	0	0	3.27	3.27	3.27	-
TKN (mgN/L)	40	40	40	5.38	5.38	5.38	-
TN (mgN/L)	40	40	40	9.60	9.60	9.60	-
TP (mgP/L)	10	10	10	1.08	1.08	1.08	-

Hasil Simulasi Siklus Opsi 5 dengan durasi aerasi 60 menit							
Parameter	rawinf	eqtankoff	gritoff	effsbpump1	effsbrpump2	effluent	BMAL
Flow (m3/d)	1000	1000	1000	500	500	1000	-
TSS (mg/L)	210	210	190	9.40	9.40	9.40	30
VSS (mg/L)	160	160	160	6.21	6.21	6.21	-
cBOD5 (mgO2/L)	190	190	190	8.88	8.88	8.88	30
COD (mgCOD/L)	430	430	430	44.44	44.44	44.44	100
Ammonia Nitrogen (mgN/L)	25	25	25	5.03	5.03	5.03	10
Nitrite (mgN/L)	0	0	0	0.92	0.92	0.92	-
Nitrate (mgN/L)	0	0	0	1.69	1.69	1.69	-
TKN (mgN/L)	40	40	40	6.73	6.73	6.73	-
TN (mgN/L)	40	40	40	9.34	9.34	9.34	-
TP (mgP/L)	10	10	10	0.66	0.66	0.66	-

Hasil Simulasi Siklus Opsi 5 dengan durasi aerasi 40 menit							
Parameter	rawinf	eqtankoff	gritoff	effsbpump1	effsbrpump2	effluent	BMAL
Flow (m3/d)	1000	1000	1000	500	500	1000	-
TSS (mg/L)	210.004	210	190	9.57	9.57	9.57	30
VSS (mg/L)	160.023	160	160	6.20	6.20	6.20	-
cBOD5 (mgO2/L)	189.999	190	190	10.54	10.54	10.54	30
COD (mgCOD/L)	430	430	430	46.76	46.76	46.76	100

Ammonia Nitrogen (mgN/L)	25	25	25	6.12	6.12	6.12	10
Nitrite (mgN/L)	0	0	0	0.63	0.63	0.63	-
Nitrate (mgN/L)	0	0	0	0.67	0.67	0.67	-
TKN (mgN/L)	40	40	40	7.85	7.85	7.85	-
TN (mgN/L)	40	40	40	9.15	9.15	9.15	-
TP (mgP/L)	10	10	10	0.66	0.66	0.66	-

Hasil Simulasi Skenario Peningkatan Konsentrasi Beban Influen

Hasil Simulasi Penambahan Konsentrasi Beban Influen 1.5x							
Parameter	rawinf	eqtankoff	gritoff	effsbpump1	effsbrpump2	effluent	BMAL
Flow (m3/d)	1000	1000	1000	500	500	1000	-
TSS (mg/L)	315	315	295	11.40	11.40	11.40	30
VSS (mg/L)	240	240	240	8.27	8.27	8.27	-
cBOD5 (mgO2/L)	285	285	285	16.89	16.89	16.89	30
COD (mgCOD/L)	645	645	645	69.87	69.87	69.87	100
Ammonia Nitrogen (mgN/L)	38	37	37	17.91	17.91	17.91	10
Nitrite (mgN/L)	0	0	0	0.43	0.43	0.43	-
Nitrate (mgN/L)	0	0	0	0.15	0.15	0.15	-
TKN (mgN/L)	60	60	60	19.87	19.87	19.87	-
TN (mgN/L)	60	60	60	20.46	20.46	20.46	-

TP (mgP/L)	15	15	15	13.04	13.04	13.04	-
------------	----	----	----	-------	-------	-------	---

Hasil Simulasi Penambahan Konsentrasi Beban Influen 1.5x

Parameter	rawinf	eqtankoff	gritoff	effsbpump1	effsbrpump2	effluent	BMAL
Flow (m3/d)	1000	1000	1000	500	500	1000	-
TSS (mg/L)	357	357	337	12.10	12.10	12.10	30
VSS (mg/L)	272	272	272	8.77	8.77	8.77	-
cBOD5 (mgO2/L)	323	323	323	19.27	19.27	19.27	30
COD (mgCOD/L)	731	731	731	78.62	78.62	78.62	100
Ammonia Nitrogen (mgN/L)	43	42	42	24.43	24.43	24.43	10
Nitrite (mgN/L)	0	0	0	0.35	0.35	0.35	-
Nitrate (mgN/L)	0	0	0	0.10	0.10	0.10	-
TKN (mgN/L)	68	68	68	26.47	26.47	26.47	-
TN (mgN/L)	68	68	68	26.92	26.92	26.92	-
TP (mgP/L)	17	17	17	14.32	14.32	14.32	-