

TUGAS AKHIR

**PERBANDINGAN PERFORMA *TRICKLING FILTER* DAN
ROTATING BIOLOGICAL CONTACTOR SEBAGAI *POLISHING*
UNIT DARI UASB MELALUI SIMULASI MODEL
MENGUNAKAN SOFTWARE GPS-X**

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



HANI RILISAVITRI

17513082

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

2021

TUGAS AKHIR

Perbandingan Performa *Trickling Filter* dan *Rotating Biological Contactor* Sebagai *Polishing Unit* dari UASB Melalui Simulasi Model Menggunakan Software GPS-X

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



Disusun Oleh:

**Hani Rilisavitri
17513082**

Disetujui,

Dosen Pembimbing I:

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

NIK : 095130403

Tanggal: 12 April 2021

Dosen Pembimbing II:

Noviani Ima Wati, S.T., M.T.

NIK : 195130102

Tanggal: 12 April 2021

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII:



Eko Sisworo, S.T., M.Sc.ES, Ph.D

NIK : 025100406

Tanggal: 12 April 2021

HALAMAN PENGESAHAN

Perbandingan Performa *Trickling Filter* Dan *Rotating Biological Contactor* Sebagai *Polishing Unit* Dari UASB Melalui Simulasi Model Menggunakan Software GPS-X

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari: Senin

Tanggal: 12 April 2021

Disusun Oleh:

HANI RILISAVITRI

17513082

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 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.

Serang, 12 April 2020

Yang membuat pernyataan,



Hani Rilisavitri

NIM: 17513082

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, saya dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Perbandingan Performa *Trickling Filter* Dan *Rotating Biological Contactor* Sebagai *Polishing Unit* Dari UASB Melalui Simulasi Model Menggunakan Software GPS-X”. Tugas akhir ini tidak akan mungkin terjadi tanpa bimbingan, arahan, dan bantuan dari beberapa orang yang saya sangat ingin ucapkan terima kasih:

Pertama, saya ingin menyatakan banyak terimakasih kepada Bapak Dr.Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng., yang tidak hanya memberi bimbingan selama proses penulisan tugas akhir ini berlangsung, melainkan telah memberikan saya kesempatan yang luar biasa untuk berbagi kesediaan, kesabaran, serta pengetahuan.

Kepada Ibu Noviani Ima Wantoputri S.T., M.T., selaku dosen pembimbing 2 saya yang juga telah banyak berkontribusi selama penulisan tugas akhir berlangsung. Serta bapak Dr. Andik Yulianto, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan dalam tugas akhir ini.

Saya juga ingin banyak berterimakasih kepada bapak Luqman Hakim, S.T., M.Si., selaku dosen wali yang telah banyak berperan penting selama proses perkuliahan saya dari semester 1 hingga semester 8.

Kepada Bapak Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., selaku Kaprodi Teknik Lingkungan yang telah banyak berbagi pengetahuan serta motivasi selama saya mengemban ilmu di Teknik Lingkungan UII.

Kepada kedua orangtua saya, Bapak Yuri Antowi dan Ibu Yulina, atas segala bentuk dukungan, do'a & semangat hingga tugas akhir ini dapat

terselesaikan. Juga tak lupa kepada Aa Agra, Ghina, dan Dek Rili, terimakasih telah selalu mendukung saya.

Kepada teman-teman saya, Anggi, Rau, Tasya, Amanda, serta seluruh teman-teman Teknik Lingkungan UII Angkatan 2017, terimakasih atas setiap momen luarbiasa yang kalian bentuk di lembar demi lembar masa kehidupan universitas saya, menemani pahit-manis kehidupan kuliah selama hampir 3 tahun kebelakang. Terimakasih.

Terakhir, saya ingin menyampaikan rasa syukur saya kepada dua teman yang menemani saya melaksanakan tugas akhir ini, kepada Jinan Henida dan Irmay Syochwan, atas dorongan, kesabaran, serta kerjasama mereka selama 2 semester terakhir ini.

Akhir kata, semoga kelak penelitian ini dapat berguna sebagai salahsatu sumber ilmu yang berkaitan dengan teknik lingkungan. Saya sangat menerima kritik dan saran dalam penelitian demi perbaikan untuk saya kedepannya.

Serang, 12 April 2021

Hani Rilisavitri



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

Penggunaan UASB masih termasuk jenis pengolahan primer yang membutuhkan *post-treatment* untuk mendapatkan kualitas effluent yang baik. Kualitas air limbah yang masih buruk dapat mengartikan bahwa suatu unit sekunder IPAL kurang memberikan hasil yang baik sehingga berdampak pada tidak terpenuhinya baku mutu air limbah dan menyebabkan efluen yang dihasilkan dari IPAL mencemari badan air penerima. Untuk menanggulangi permasalahan tersebut, maka perlu dilakukan *polishing* atau pemolesan terlebih dahulu dalam sistem *post-treatment unit* UASB. Dalam penelitian ini, dilakukan suatu pemodelan IPAL yang difokuskan dengan membandingkan performa unit pengolahan sekunder UASB serta pos tambahannya yang berupa *Trickling Filter* dan *Rotating Biological Contactor* dalam meminimalkan beban organik dan anorganik terutama Total COD dan Total Nitrogen yang dilepaskan ke badan air. Perbandingan performa IPAL pada penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan software GPS-X 8.0.1. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui cara menyusun model dan melakukan simulasi pengolahan pada IPAL menggunakan software GPS-X serta memprediksi kemampuan setiap unit IPAL. Komposisi influen air limbah dihasilkan menggunakan penyesuaian antara nilai *default* GPS-X 8.0.1. Hasil dari simulasi menyatakan bahwa unit TF lebih unggul dalam hal memenuhi baku mutu dibandingkan unit RBC dalam hal penghilangan kandungan COD dan TN.

Kata kunci: IPAL, UASB, TF, RBC, Pos Tambahan, Simulasi Model, GPS-X 8.0.1

ABSTRACT

The use of UASB is still a type of primary processing that requires a post-treatment to get a better quality effluent. The quality of wastewater that still poor can mean that a secondary unit of WWTP doesn't give good results so that it has an impact on not comply the wastewater quality standards and causes the effluent pollute the receiving water bodies. To overcome this problem, it is necessary to do polishing first as the post-treatment system of the UASB unit. In this study, a WWTP modeling was carried out which focused on comparing the performance of the secondary treatment unit/UASB and its additional posts in the form of Trickling Filters and Rotating Biological Contactors in removing organic and inorganic loads, especially in Total COD and Total Nitrogen released into water bodies. The comparison of the WWTP performance in this study was carried out using the GPS-X 8.0.1 software. The purpose of this study was to determine how to construct models and simulate WWTP plant-wide layout using GPS-X software and predict the performance of each WWTP unit. The composition of the influent wastewater was generated using an adjusted and default values of GPS-X 8.0.1. The results of the simulation stated that the TF unit was better in terms of comply wastewater quality standards compared to the RBC unit in terms of removing COD and Total Nitrogen matters.

Key words: WWTP, TF, RBC, Polishing Unit, Modelling, Simulation, GPS-X 8.0.1

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
NOTASI DAN SINGKATAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Pendahuluan	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan	4
1.4. Manfaat	4
1.5. Ruang Lingkup	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)	6
2.2. Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)	6
2.3. Polishing Unit	8
2.4. Rotating Biological Contactor (RBC)	8
2.5. Trickling Filter (TF)	9
2.6. Komponen dan Organisme	10
2.7. Pemodelan	12
2.8. GPS-X	13
2.9. Penelitian Terdahulu	16

BAB III METODE PENELITIAN.....	19
3.1. Model GPS-X.....	20
3.2. Parameter Input.....	22
3.3. Skenario Simulasi	26
3.4. Pemilihan Unit	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1. Skenario Simulasi Model IPAL	31
4.2. Tahapan Penyusunan Model GPS-X	32
4.3. Kalibrasi Data dan Validasi Model.....	32
4.4. Layout IPAL	34
4.5. Perbandingan Performa IPAL UASB+TF dan IPAL UASB+RBC.....	36
4.5.1. Hasil Simulasi Skenario 1 (<i>Flow Rate Scenario</i>).....	36
4.5.2. Hasil Simulasi Skenario 2 (<i>Concentration Load</i>).....	38
4.5.3. Hasil Simulasi Skenario 3 (<i>Mixed Scenario</i>)	39
4.6. Perbandingan Performa Trickling Filter vs. RBC.....	43
4.6.1. Perbandingan Parameter COD	44
4.6.2. Perbandingan Parameter TN	47
4.7. Optimasi <i>Rotating Biological Contactor</i>	50
BAB V KESIMPULAN & SARAN	56
5.1. Kesimpulan	56
5.2. Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN.....	63
Hasil Simulasi UASB+TF.....	63
Hasil Simulasi UASB+RBC	67

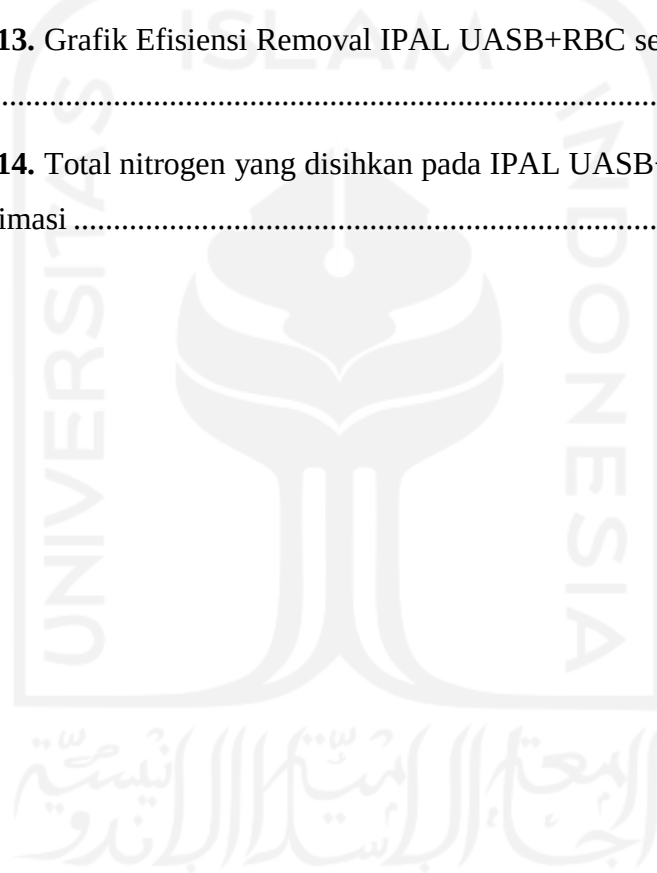
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Ringkasan Penelitian Terdahulu.....	16
Tabel 3.1. Parameter kondisi fisik dan operasional sistem UASB, trickling filter, dan RBC. (a) UASB ; (b) trickling filter ; (c) RBC	23
Tabel 3.2. Karakteristik influen sistem UASB+TF dan UASB+RBC	24
Tabel 3.3. Tabel User Input yang dijadikan scenario dalam simulasi GPS-X	26
Tabel 3.4. Skenario Simulasi IPAL GPS-X 8.0.1	27
Tabel 3.5. Efisiensi Removal Masing-masing Unit Berdasarkan Studi Literatur	29
Tabel 3.6. Baku Mutu Air Limbah Domestik.....	30
Tabel 4.1. Default dan Adjusted value pada model IPAL	33
Tabel 4.2. Persen Removal Unit UASB dengan Konsentrasi Dasar Berdasarkan Simulasi GPS-X 8.0.1	35
Tabel 4.3.. Hasil Simulasi Skenario 1 (Debit 2x).....	36
Tabel 4.4. Tabel Effluen IPAL UASB+RBC Skenario 3.....	46
Tabel 4.5. Tabel Effluen IPAL UASB+RBC Skenario 3.....	46
Tabel 4.6. Hasil Effluen IPAL UASB+RBC Sebelum Optimasi	51
Tabel 4.7. Hasil Effluen IPAL UASB+RBC Setelah Optimasi	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Klasifikasi COD berdasarkan kemampuan bakteri dalam menghilangkan kandungan organik.	10
Gambar 2.2. Beberapa fitur pada software GPS-X	14
Gambar 2.3. Proses Bio-Kim dalam model GPS-X	14
Gambar 2.4. GPS-X Simulation Interface	15
Gambar 3.1. Diagram Alir Metode Penelitian Perbandingan Performa Proses Trickling Filter (TF) dan Rotating Biological Contactor (RBC) Sebagai Polishing Unit Dari Proses Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Melalui Model Simulasi Menggunakan Software GPS-X.....	20
Gambar 3.2. Skema penggunaan software GPS-X.....	20
Gambar 3.3. Diagram skematik model GPS-X sistem yang dianalisis:	22
(a) Upflow Anaerobic Sludge Blanket dengan Trickling Filter, (b) Upflow Anaerobic Sludge Blanket dengan Rotating Biological Contactor (RBC).	22
Gambar 3.4. Contoh Simulasi IPAL dengan software GPS-X.....	28
Gambar 4.1. Trial and Error User Input Model IPAL GPS-X	34
Gambar 4.2. Skenario 1 (Flow Rate Scenario)-Persen Removal IPAL A vs IPAL B	37
Gambar 4.3. Skenario 2 (Concentration Load Scenario)-Persen Removal IPAL A vs IPAL B.....	39
Gambar 4.4. Skenario 3 (Mixed Scenario): .a. Persen Removal IPAL A; b. Persen Removal IPAL B.....	42
Gambar 4.5. Variasi efluen yang disisihkan pada COD 430 mg/L	44
Gambar 4.6. Variasi efluen yang disisihkan pada COD 645 mg/L	45

Gambar 4.7. Variasi efluen yang disisihkan pada COD 731 mg/L	45
Gambar 4.8. Variasi efluen yang disisihkan pada NH ₄ -N 25 mg/L.....	48
Gambar 4.9. Variasi efluen yang disisihkan pada NH ₄ -N 37,5 mg/L.....	48
Gambar 4.10. Variasi efluen yang disisihkan pada NH ₄ -N 42,5 mg/L.....	49
Gambar 4.11. Input Parameter Fisika Unit RBC.....	53
Gambar 4.12. Layout IPAL Optimasi Unit RBC	53
Gambar 4.13. Grafik Efisiensi Removal IPAL UASB+RBC sebelum dan sesudah optimasi	54
Gambar 4.14. Total nitrogen yang disisihkan pada IPAL UASB+RBC sebelum dan sesudah optimasi	55



NOTASI DAN SINGKATAN

IPAL	= Instalasi Pengolahan Air Limbah
UASB	= Upflow Anaerobic Sludge Blanket
TF	= Trickling Filter
RBC	= Rotating Biological Contactor
TSS	= Total Suspended Solids
VSS	= Volatile Suspended Solids
COD	= Total Chemical Oxygen Demand
BOD	= Total Biochemical Oxygen Demand
TKN	= Total Kjeldahl Nitrogen
TN	= Total Nitrogen
TP	= Total Phosphorus
MLSS	= Mixed Liquor Suspended Solids
ASM	= Activated Sludge Model
O & M	= Operation and Maintenance
BMAL	= Baku Mutu Air Limbah

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Pendahuluan

Seiring berjalannya waktu, serta meningkatnya jumlah penduduk di muka bumi, air menjadi salah satu masalah paling kritis yang dihadapi dunia saat ini. Ditambah keberagaman kegiatan manusia yang kian meningkat. Hal tersebut berpengaruh pada meningkatnya jumlah kontaminan air limbah. Sementara, tidak semua kegiatan industri maupun domestik memiliki sistem pengolahan air limbah yang memadai. Dalam hal limbah domestik (*black water* dan *grey water*), masih cukup banyak masyarakat di daerah tertentu yang langsung membuang limbah hasil kegiatan mereka ke badan air tanpa melalui pengolahan terlebih dahulu. Padahal, hal tersebut berpotensi menyebabkan menurunnya kualitas daya dukung dan daya tampung lingkungan terutama pada badan air penerima. Jika jumlah air limbah domestik yang dibuang melebihi dari kemampuan alam untuk menerimanya, maka akan terjadi kerusakan lingkungan (Wulandari, 2014) dan dapat meningkatkan potensi masyarakat terkena penyakit diare dan demam berdarah (Khairina, 2015). Masalah terkait pasokan air yang tidak mencukupi dan fasilitas sanitasi yang buruk juga menyebabkan ribuan kematian setiap hari khususnya pada negara-negara berkembang.

Dalam merencanakan suatu teknologi IPAL, diperlukan adanya suatu pemilihan proses berupa analisa berdasarkan kapasitas dan prioritas pembangunan itu sendiri. Untuk membantu pemilihan proses desain konseptual IPAL, atau dalam upaya meng-upgrade suatu teknologi IPAL yang sudah diaplikasikan serta *long term plant operation*, maka digunakan suatu pemodelan matematika dinamis. Pemodelan dinamis kian banyak dimanfaatkan oleh beberapa peneliti untuk

membandingkan; menginvestigasi; mengevaluasi skenario yang bertujuan mengoptimalkan proses pengolahan air limbah. (Stokes et al., 1993; De la Sota et al., 1994; Coen et al., 1997; Giorgio M. et al., 2009)

Saat ini penggunaan energi, pembiayaan operasional IPAL, dan pengendalian emisi rumah kaca menjadi perhatian terpenting pada tingkat yang sama dengan kualitas air limbah selama desain dan pengoperasian instalasi pengolahan air limbah. Pengolahan limbah secara anaerobik dinilai paling menjajikan dan ekonomis dalam skala sistem yang besar dikarenakan beberapa manfaat diantaranya kemampuan *dewaterability* dari lumpur, pengurangan *pathogen* dan bau, serta reduksi padatan kering (L. Appels, et al., 2011; J. Ariunbaatar, et al., 2014). Pada saat yang sama, sistem anaerobik telah digunakan sebagai penghasil energi sejak krisis di tahun 1970-an, bahkan sekarang limbah dari sistem anaerobik dipertimbangkan sebagai sumber energi terbarukan berupa metana (CH₄) (J. Mata-Alvarez, et al., 2014) serta dapat mengurangi emisi gas rumah kaca (T. Benabdallah El Hadj, et al., 2009).

Salahsatu solusi pengolahan biologis limbah secara anaerob yang *cost effective* dan *low-energy consumption* adalah dengan teknologi *upflow anaerobic sludge blanket* (UASB). Namun, selama prosesnya, pencernaan anaerobik dari UASB menghasilkan ion seperti amonium, fosfat, atau sulfida, dan membutuhkan proses tambahan untuk perlindungan lingkungan yang berkelanjutan. (Lattenga 2008; Abou-Elela et al. 2013). UASB yang dipadukan dengan *polishing unit* memiliki efisiensi penghilangan BOD hingga 95% dan konsentrasi padatan tersuspensi dalam limbah efluen yang memiliki dibawah 25 mg/L (Chernicharo CAL, et al., 1998)

Perbandingan performa *polishing unit* pada teknologi UASB dengan *rotating biological contactor* (RBC) dan *trickling filter* (TF) dilakukan dengan perhitungan matematis model simulasi yang digabungkan dengan data aktual. Model simulasi memungkinkan perbandingan dari alternatif proses secara konsisten untuk memadukan *conseptual knowledge* serta menganalisis secara interaktif dalam waktu yang singkat dengan resiko dan biaya yang rendah. Dalam penelitian ini, perangkat lunak yang digunakan adalah GPS-X. Diantara beberapa perangkat lunak

pemodelan instalasi pengolahan air limbah, GPS-X merupakan *user friendly interface* yang paling lengkap dan paling banyak digunakan untuk pemodelan matematika, kontrol, pengoptimalan, dan pengelolaan instalasi pengolahan air limbah. GPS-X sendiri merupakan suatu alat pemodelan lingkungan multiguna yang menggabungkan tampilan visual antara sistem dengan pengguna (*user*) agar dapat melakukan pemodelan dan simulasi dinamis. Model proses biologis pengolahan limbah yang tersedia di GPS-X diantaranya ASM, ASM2d, ASM3, Mantis, New General, dan Comprehensive/Mantis 2 (Hydromantis, 2013).

1.2. Rumusan Masalah

Evaluasi IPAL dengan kondisi IPAL yang sesuai dengan kenyataan tidak dilakukan dalam penelitian ini. Penelitian ini lebih kepada mengetahui performa IPAL terbaik untuk kemudian dapat digunakan dalam mendesain IPAL melalui model simulasi. Dalam penelitian ini, dilakukan dengan mengevaluasi kinerja dari masing-masing polishing unit UASB yaitu RBC dan TF melalui perbandingan persen removal dari kedua unit dengan hasil yang disesuaikan dengan baku mutu air limbah domestik.

Adapun masalah yang dikaji dalam tugas akhir ini diantaranya:

1. Bagaimana menyusun model dan melakukan simulasi pengolahan pada IPAL menggunakan software GPS-X 8.0.1?
2. Bagaimana performa IPAL dengan kombinasi proses UASB dan *Trickling filter* vs. *Rotating Biological Contactor* sebagai *polishing unit* melalui model simulasi skenario menggunakan software GPS-X?
3. Bagaimana performa unit pengolahan sekunder UASB dan *Trickling filter* vs. *Rotating Biological Contactor* sebagai *polishing unit* dalam hal penyisihan kandungan COD dan total nitrogen melalui model simulasi skenario menggunakan software GPS-X?
4. Bagaimana cara mengoptimalkan kinerja unit melalui model simulasi skenario menggunakan software GPS-X?

1.3. Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui cara menyusun model dan melakukan simulasi pengolahan pada IPAL menggunakan software GPS-X 8.0.1.
2. Membandingkan performa IPAL UASB - *Trickling filter* dengan UASB - *Rotating Biological Contactor* dengan berbagai simulasi melalui model simulasi menggunakan software GPS-X 8.0.1
3. Mengetahui perbandingan kinerja unit *Trickling filter* vs. *Rotating Biological Contactor* sebagai *polishing unit* UASB melalui model simulasi menggunakan software GPS-X 8.0.1
4. Melakukan optimasi kinerja unit RBC melalui model simulasi menggunakan software GPS-X 8.0.1

1.4. Manfaat

Manfaat dari penelitian ini meliputi :

1. Memberikan gambaran simulasi performa IPAL dengan kombinasi proses UASB dan *Trickling Filter* sebagai *polishing unit* menggunakan software GPS-X versi 8.0.1
2. Memberikan gambaran simulasi performa IPAL dengan kombinasi proses UASB dan *Rotating Biological Contactor* menggunakan software GPS-x versi 8.0.1
3. Memberikan informasi dan referensi pembelajaran terutama pada bidang keilmuan Teknik Lingkungan yang berkaitan dengan pengolahan limbah industri mengenai penentuan pilihan proses terbaik dari proses TF dan RBC *polishin unit* UASB
4. Dengan mengetahui performa IPAL terbaik melalui *software* GPS-X akan menyederhanakan permasalahan kompleks dengan mudah. Penelitian ini dapat memberikan informasi kepada konsultan lingkungan atau instansi pemerintahan di bidang lingkungan yang akan melakukan suatu

perencanaan IPAL tanpa harus membandingkan dengan sistem aktual sehingga biaya, resiko, dan waktu yang dikeluarkan kecil.

1.5. Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian memiliki tujuan untuk membatasi masalah yang akan dikaji. Adapun ruang lingkup dari tugas akhir ini adalah:

1. Software GPS-X versi 8.0.1 Hydromantis Inc.
2. Simulasi model *Rotating Biological Contactor* (RBC) *pilot plant* sebagai *post-treatment* biologis UASB menggunakan *software* GPS-X 8.0.1
3. Simulasi model *Trickling Filter* (TF) *pilot plant* sebagai *post-treatment* pengolahan biologis UASB menggunakan *software* GPS-X 8.0.1
4. Karakteristik air limbah domestik yang digunakan adalah buku *Wastewater Engineering; Treatment and Reuse* (Fourth Edition) tahun 2003 ciptaan Metcalf & Eddy dengan kualitas medium strength
5. Baku mutu air limbah mengacu pada Permen.LHK No.68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik
6. Kriteria desain untuk unit IPAL berasal dari buku *Wastewater Engineering; Treatment and Reuse* (Fourth Edition) tahun 2003 ciptaan Metcalf & Eddy
7. Debit dasar IPAL sebesar 1000 m³/detik
8. Data pelengkap lainnya dapat diperoleh melalui buku, jurnal, website resmi, dsb untuk membantu penyusunan laporan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)

Air limbah adalah air buangan yang berasal dari rumah tangga termasuk tinja manusia dari lingkungan permukiman. Berdasarkan pasal tersebut juga, air baku/air minum harus dilindungi melalui keterpaduan pengaturan SPAM serta prasarana dan sarana sanitasi. Prasarana dan sarana sanitasi sebagaimana dimaksud diantaranya adalah prasarana air limbah. Prasarana alir limbah dilakukan melalui sistem pembuangan air limbah setempat dan/atau terpusat. Sistem pembuangan air limbah dilakukan secara individual melalui pengolahan dan pembuangan air limbah setempat, sedangkan sistem pembuangan air limbah terpusat dilakukan secara kolektif melalui jaringan pengumpul dan diolah serta dibuang secara terpusat (PP No. 16 Tahun 2005). Tujuan utama dari dibuatnya suatu Instalasi Pengolahan Air Limbah adalah untuk memastikan jumlah kontaminan yang ada di dalam aliran air yang dibuang ke badan air telah memenuhi baku mutu guna menjaga kestabilan sistem air agar tetap memiliki kualitas yang baik, sehingga secara terus menerus dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan hidup manusia (Dairi, et al., 2010 dan Roda, et al., 1999).

2.2. Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)

Proses pengolahan air limbah dapat dibedakan menjadi dua jenis, yakni proses aerob, proses yang berlangsung dengan hadirnya oksigen, dan proses anaerob, proses yang berlangsung tanpa adanya oksigen. Pengolahan air limbah secara aerobik telah digunakan secara tradisional selama beberapa dekade untuk mengatasi limbah berkonsentrasi tinggi. Namun, permasalahan berupa lumpur masih menjadi kekurangan dari proses pengolahan limbah secara aerob (Christensen et al., 1984; Khan et al., 2011), terkecuali apabila penggunaan *anoxic-*

aerobic digester diadaptasi untuk pengolahan limbah lumpur aktif. Anaerobik digester merupakan teknologi yang *energy savings* sehingga dalam hal persyaratan teknis yang tidak terlalu rumit, dan dalam penggunaannya juga dapat mendorong laju penghilangan *nutrient* melalui nitrifikasi dan presipitasi fosfor. Selain itu, untuk pengolahan lumpur primer, *anaerobic digestion* juga dapat dijadikan alternatif untuk mengolah air limbah dari berbagai jenis yang berbeda (Cronin & Lo, 1998; Mahmoud et al., 2004; Ince et al., 2005; Miranda et al., 2005; Gohil & Nakhlq, 2006; Akbarpour Toloti & Mehrdadi, 2010; Kerroum et al. 2010).

Disisi lain, pengolahan limbah secara aerob memerlukan energi yang cukup besar untuk memastikan proses aerasi berjalan lancar, pengolahan ini juga tidak hanya mahal dalam biaya pemasangan, tetapi juga pada saat operasi. Proses anaerobik memiliki kebutuhan energi, biaya, dan lahan yang lebih kecil dibandingkan proses aerobik (Christensen et al., 1984; Rajakumar et al., 2011; Chong et al., 2012). Proses anaerobik menghasilkan lebih sedikit lumpur yang dapat disimpan selama beberapa bulan sehingga dapat mengurangi kebutuhan *sludge disposal* (Lettinga et al. 1980; Sawayama et al. 1999; Rajakumar et al. 2011; Chong et al. 2012). Selain itu, proses anaerob menghasilkan biogas yang sebagian besar merupakan campuran CO₂ dan metana dapat dibakar untuk digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil (Batstone et al. 2002a, 2002b; Chen et al. 2011; Thamsiroj & Murphy, 2011). *Upflow anaerobic sludge blanket* (UASB) adalah jenis pengolahan limbah secara anaerobik yang terjadi di dalam reaktor pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth*). Reaktor ini pertama kali dikembangkan oleh Lettinga et al., 1980, dan sekarang menjadi salahsatu sistem pengolahan air limbah anaerob yang dapat mengolah air limbah dengan beban organik tinggi yang paling banyak digunakan karena desain konstruksinya yang sederhana, (Chen et al. 2011; Rajakumar et al. 2011) serta biaya operasi yang rendah (Christensen et al. 1984; Akbarpour Toloti & Mehrdadi 2010; Chen et al. 2011)

2.3. Polishing Unit

UASB dianggap salahsatu teknologi anaerobik yang paling ekonomis, paling terjangkau, dan mudah diikuti oleh sistem lumpur aktif (AS). Manfaat UASB yang mencakup keseimbangan massa/energi, *low maintenance*, dan produksi lumpur rendah serta tahan terhadap limbah industri (COD>1000ppm, BOD>300ppm) (Chernicharo et al., 2015). Namun, pada penelitian tertentu, UASB masih memiliki beberapa kekurangan seperti tidak tersisirkannya bahan organik yang tidak diinginkan, populasi mikroba berlebih, nutrient dalam jumlah yang banyak serta sisa-sisa logam yang masih sering tertinggal di tangki *anaerobic digester* (Manish Kumar et al., 2019; Kubota et al., 2014).

Penggunaan UASB sendiri masih termasuk jenis pengolahan primer yang membutuhkan *post-treatment* untuk mendapatkan kualitas effluent yang baik dan sesuai untuk penggunaan kembali air limbah (El Gohary et al. 1998). Kualitas air limbah yang masih buruk dapat mengartikan bahwa suatu unit sekunder IPAL kurang memberikan hasil yang baik sehingga berdampak pada tidak terpenuhinya baku mutu air limbah dan menyebabkan efluen yang dihasilkan dari IPAL mencemari badan air penerima. Untuk menanggulangi permasalahan seperti itu, maka perlu dilakukan *polishing* atau pemolesan terlebih dahulu dalam sistem *post-treatment unit*.

Polishing unit/post-treatment adalah proses tambahan yang bertujuan untuk memperbaiki beban polusi dari proses UASB, terutama dalam hal menurunkan beban organik, nutrien, dan mikroorganisme patogen yang masih terdapat dalam lumpur mengingat kerusakan lingkungan yang disebabkan polutan yang masih tersisa dalam badan air penerima (Chernicharo et al., 2006)

2.4. Rotating Biological Contactor (RBC)

Rotating biological contactor adalah unit pengolahan sekunder yang biasanya didahului oleh unit pengolahan primer seperti tangka septik, filter anaerobik, *clarifier*, dsb. *Rotating biological contactor* (RBC) atau yang juga dikenal dengan sebutan *disc biofilm reactors* merupakan sebuah alternatif untuk teknologi

pengolahan air limbah seperti lumpur aktif. Teknologi RBC telah banyak digunakan untuk mengolah air limbah industri maupun rumah tangga (Bannister, 2007). Dalam prosesnya, mikroorganisme tumbuh dengan merendahkan substrat yang menarik pertumbuhan mikroba dalam sebuah *static biological film* (Hassard et al., 2015; Sirianuntapiboon & Chumlaong, 2013). Efisiensi transfer oksigen yang tinggi dalam teknologi RBC lebih hemat biaya pada hasil akhir dibandingkan dengan proses lain yang menggunakan *diffusers* atau *surface aerator*. Keunggulan lainnya dari teknologi ini adalah memiliki kapasitas yang tinggi untuk mentolerir fluktuasi air limbah dan untuk meredam *shock loadings* juga dapat diatasi oleh RBC (Metcalf, 2003)

2.5. Trickling Filter (TF)

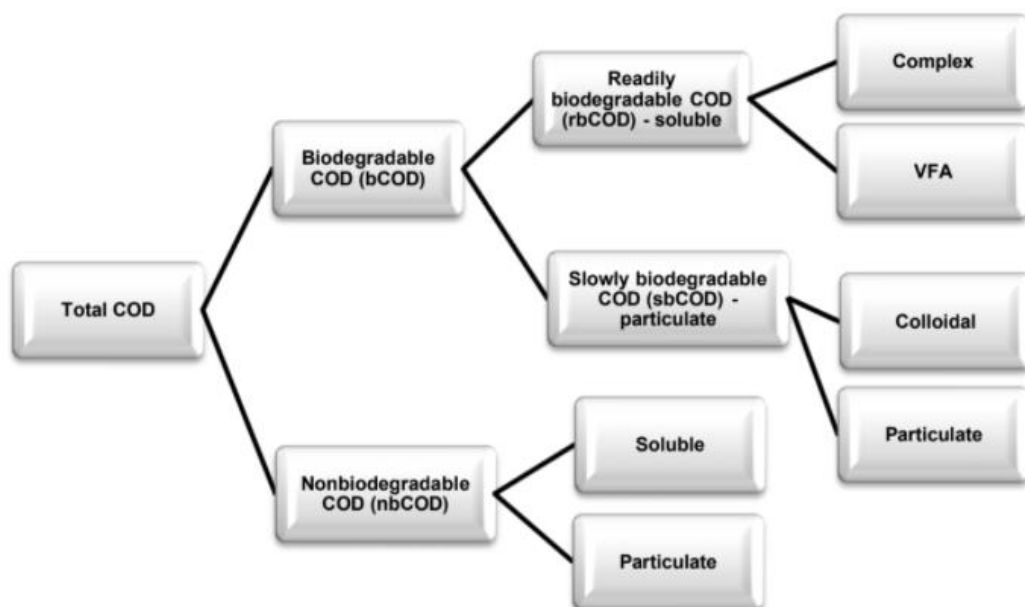
Trickling filter adalah lapisan tetap filter biologis yang beroperasi di bawah (hampir) keadaan *aerobic*. Unit ini termasuk ke dalam sistem pertumbuhan melekat (*attached growth*) yang menggunakan mikroorganisme yang menempel ke media untuk menghilangkan bahan organik dari air limbah. Sistem distribusim struktur penahanan, media batuan atau plastik, drainase dan sistem ventilasi adalah komponen tipikal dari TF. (US EPA, 2000)

Air limbah dari bak pengendap pendahuluan disebar/disemprotkan di atas filter. Air bergerak melalui pori-pori filter, lalu zat organik diuraikan oleh biomassa yang menempel pada material filter (Opsi Sistem dan Teknologi Sanitasi, 2010). Teknologi ini biasanya dipakai hanya setelah proses penjernihan primer. Sebab, kandungan padatan yang tinggi dalam air limbah akan menyumbat filter. Secara mekanis, air limbah disebarkan merata mungkin di atas materi ini dengan memakai alat penyembur air. Air limbah dipasok dari atas dan menetes melalui materi penyaring ke dasar tangki. *Trickling filter* sering digunakan sebagai *post-treatment* dari limbah proses anaerobik yang mana, teknologi ini memiliki efisiensi penghilangan yang sangat baik bagi padatan tersuspensi dan material organik, produksi lumpur yang setara dengan sistem aerobik, sistem operasional yang tidak terlalu sulit; stabil; dan dapat diandalkan, biaya konstruksi juga O&M yang rendah,

tidak konsumsi daya, serta tidak memiliki dampak berupa bau, kebisingan, gangguan visual yang tinggi. (Chernicharo, 2006; Kassab et al., 2010)

2.6. Komponen dan Organisme

Untuk memahami reaksi kimia dan proses biologi yang terjadi di IPAL yang menggunakan UASB sebagai unit biologis, serta *trickling filter* atau pun *rotating biological contactor* sebagai *post-treatment* UASB, diperlukan pengetahuan mengenai komponen mana yang berfungsi sebagai substrat dan komponen mana yang secara biologis bersifat *inert*. Partikel *inert* adalah partikel yang tidak menunjukkan reaksi atau respon kimia maupun biologi ketika berada di lingkungan. Untuk itu, perlu dijelaskan terlebih dahulu mengenai klasifikasi COD berdasarkan *biodegradability of the organic matter* atau kemampuan bakteri dalam menguraikan kandungan organik dalam air limbah.



Gambar 2.1. Klasifikasi COD berdasarkan kemampuan bakteri dalam menghilangkan kandungan organik.

Sumber : Pereira, 2014

Berbeda dengan BOD, sebagian COD tidak dapat terurai secara biologi sehingga COD terbagi menjadi *biodegradable* (bCOD) dan *nonbiodegradable* (nbCOD). Masing-masing dari kedua fraksi ini kemudian terbagi berdasarkan keadaan fisik materi, yakni *soluble* (larut) dan *particulate*.

COD dengan jenis nbCOD dengan sifat larut akan ditemukan dalam wujud effluen limbah cair yang terolah, sedangkan nbCOD dengan sifat partikulat, tidak dapat ditemukan dalam wujud cair melainkan dalam wujud *sludge* sehingga berkontribusi pada total produksi lumpur. Kemudian untuk COD dengan jenis bCOD atau *biodegradable* COD, dengan sifat terlarut atau dikenal dengan sebutan *readily biodegradable* COD (rbCOD) adalah jenis COD yang dengan cepat diasimilasi oleh mikroorganisme, sedangkan *particulate and colloidal* COD (sbCOD) terlebih dahulu melewati proses hidrolisis oleh *extracellular enzymes* supaya dapat diasimilasi oleh mikroorganisme. Sehingga dapat dikatakan bahwa proses penguraian senyawa organik sbCOD akan terjadi lebih lambat dibandingkan rbCOD karena sebelumnya harus melewati proses adsorbs, hidrolisis dan metabolisme. Untuk COD dengan jenis rbCOD dapat diubah menjadi senyawa asetat melalui proses fermentasi dalam kondisi anaerobik untuk kemudian dimanfaatkan oleh bakteri penyimpan fosfor.

Organisme berupa bakteri yang dapat mendegradasi bahan organik adalah jenis bakteri heterotrof. Sedangkan bahan anorganik adalah bakteri autotrof. Berdasarkan cara memperoleh karbon, cara yang dilakukan oleh organisme untuk mendapatkan karbon sebagai pendukung pertumbuhan sel mereka adalah dengan cara mengasimilasi kandungan organik dari air limbah (bakteri heterotrof) atau CO₂ (autotrof). Energi yang dibutuhkan untuk sintesa sel berasal dipasok oleh cahaya (fototrof) atau dari proses oksidasi kimia (kemotrof).

Bakteri dengan jenis *chemoautotroph* merupakan bakteri yang paling sering terlibat dalam proses penghilangan kandungan organik dalam air limbah karena perannya dalam nitrifikasi sangat besar. Bakteri kemoautotrof mendapatkan energi dari oksidasi-reduksi senyawa anorganik seperti ammonia, nitrat, besi, dan sulfide

sedangkan bakteri kemoheterotrof mendapatkan energi dari reaksi oksidasi senyawa organik. Ketika oksigen digunakan sebagai akseptor electron, reaksi disebut sebagai reaksi aerobik sehingga reaksi yang melibatkan akseptor selain oksigen disebut sebagai reaksi anaerobik. (Pereira, 2014)

2.7. Pemodelan

Model adalah representasi yang disederhanakan dari apa yang terjadi dalam kenyataan. Ini ditentukan oleh serangkaian persamaan dan prosedur matematika, dibentuk oleh variabel dan parameter yang berbeda tergantung pada waktu. Sebuah model memungkinkan mempelajari dan menganalisis pertanyaan teknik dalam waktu yang lebih singkat jangka waktu, mengurangi biaya yang terkait dengan analisis laboratorium. Dalam pemodelan IPAL, model bisa digunakan untuk mengevaluasi respons dari suatu sistem terhadap berbagai gangguan, sehingga memungkinkan implementasi strategi yang menjamin kinerja yang lebih baik. Pemodelan juga berguna untuk proses optimasi dan kontrol, misalnya untuk mengevaluasi beberapa skenario yang mungkin terjadi, seperti peningkatan operasi IPAL yang sudah ada dan sebagai alternative desain untuk instalasi IPAL melalui simulasi. Dengan begitu, pemodelan memiliki manfaat diantaranya mengurangi waktu (efisiensi waktu) karena berbagai macam opsi bisa dievaluasi sebelum *pilot plant* dibuat. (Pereira, 2014)

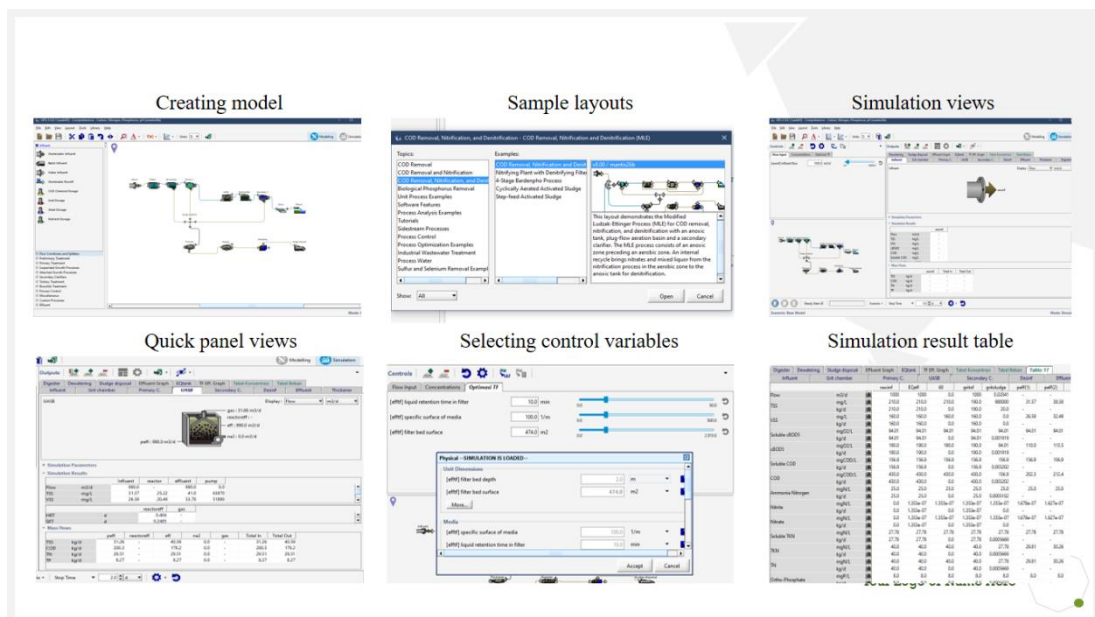
Ada beberapa cara untuk dapat merancang, menganalisis dan mengoperasikan suatu sistem. Salah satunya adalah dengan melakukan pemodelan, membuat model dari sistem tersebut. Model adalah alat yang sangat berguna untuk menganalisis maupun merancang sistem. Sebagai alat komunikasi yang sangat efisien, model dapat menunjukkan bagaimana suatu operasi bekerja dan mampu merangsang untuk berpikir bagaimana meningkatkan atau memperbaikinya. Dengan membuat model dari sistem maka diharapkan dapat lebih mudah untuk melakukan analisis. Hal ini merupakan prinsip pemodelan, yaitu bahwa pemodelan bertujuan untuk mempermudah analisis dan pengembangan. (Dewi, 2013). Menurut Erma Suryani dalam buku Pemodelan dan Simulasi (2006), model

merupakan representasi sistem dalam kehidupan nyata yang menjadi fokus perhatian dan menjadi pokok permasalahan. Pemodelan dapat didefinisikan sebagai proses pembentukan model dari sistem tersebut dengan menggunakan bahasa formal tertentu.

2.8. GPS-X

GPS-X merupakan sebuah *software* pemodelan lingkungan multiguna yang memanfaatkan *advanced user interface* untuk melakukan simulasi *plant-wide* IPAL dengan cara memanfaatkan pemodelan matematika dinamis yang disimulasikan dari suatu proses biologis instalasi pengolahan air limbah. Model biologis yang terdapat di GPS-X diantaranya adalah ASM, ASM2d, ASM3, Mantis, New General, dan Mantis2 (Hydromantis, 2013). GPS-X dikembangkan oleh Hydromantis, Kanada, pada tahun 1992, dan merupakan salah satu simulator paling populer di Amerika Utara. GPS-X muncul dengan cukup banyak contoh *layout* untuk berbagai tujuan yang berbeda (*nitrogen removal, phosphorus removal, only carbon removal process carbon removal, process configuration comparisons between IFAS, AS, dan MBR*) (I.S. Urdalen, 2015). GPS-X merupakan program pemodelan multiguna terbaik untuk instalasi pengolahan air limbah baik industri maupun rumah tangga.

GPS-X memiliki berbagai fitur perhitungan tambahan seperti pembuatan model IPAL yang dapat disajikan dalam bentuk *sample layout*, tabel hasil simulasi, dsb yang memudahkan pengubahan *variables* menjadi *model layout* (GPS-X User Guide). Belum ada perangkat lunak lain yang menyediakan kemampuan serta fleksibilitas seperti yang dimiliki oleh GPS-X. GPS-X menggunakan kemajuan teknologi terbaru selama proses pemodelan komputer, simulasi, grafik dan sejumlah alat produktivitas untuk menyederhanakan model (Jeppsson, 1996). Berikut merupakan gambaran singkat mengenai fitur pada GPS-X dan beberapa proses biologi dan kimia pada IPAL yang disediakan hydromantis pada berbagai model GPS-X.



Gambar 2.2. Beberapa fitur pada software GPS-X 8.0.1

Process	ASM1	ASM3	Mantis	ASM2d	New General	Mantis2
Fermentation step				X	X	X
Nitrification/Denitrification	X	X	X	X	X	X
Aerobic Denitrification			X			
Aerobic Substrate Storage		X				
COD "Loss" (less COD leave the model than enters)					X	
2-Step Nitrification/Denitrification						X
NO ₃ ⁻ as a N source for cell synthesis			X		X	
Alkalinity consumption/generation	X	X	X	X		X
Alkalinity (as a limiting factor for growth processes)				X		
Biological phosphorus Removal				X	X	X
Precipitation of P with metal hydroxides				X		X
Temperature dependency	X	X	X	X		X
pH						X
Struvite, other Calcium and Magnesium ppt.						X
Anammox						X
Methylothrop						X

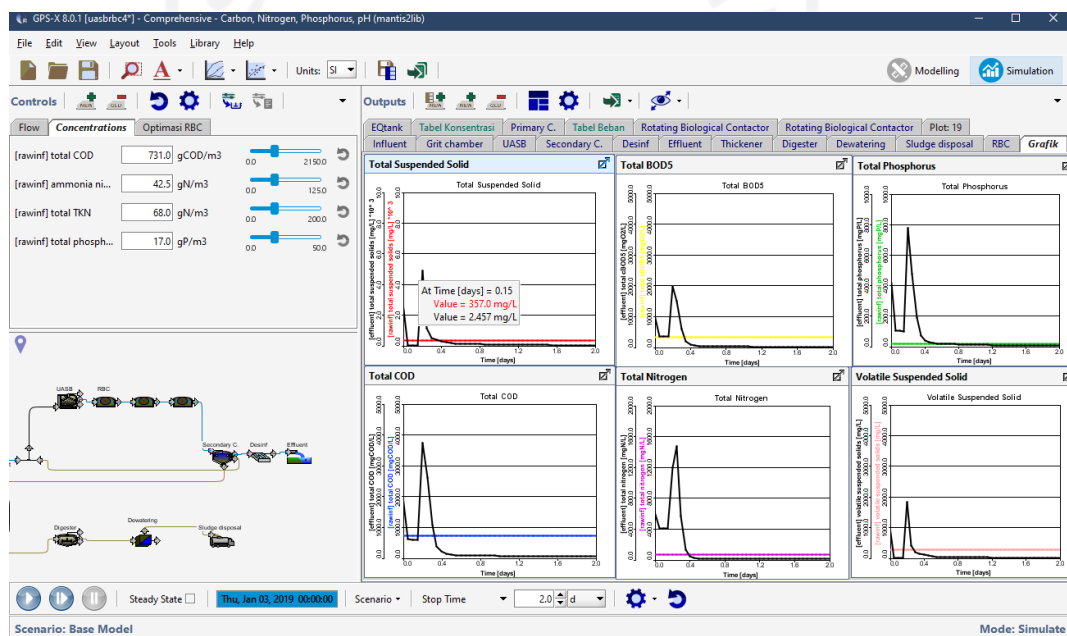
Gambar 2.3. Proses Bio-Kim dalam model GPS-X

(Hydromantis, 2014)

GPS-X adalah alat canggih yang tersedia untuk pemodelan matematika, simulasi, optimasi dan pengelolaan IPAL. Penggunaan *drag and drop interface* dan

database yang komprehensif dari setiap proses unit pada GPS-X memungkinkan pengguna dengan cepat dan mudah merakit model IPAL, memasukkan data karakterisasi, serta menjalankan simulasi, seperti yang terdapat di gambar 2.2.

Penyajian model dalam GPS-X dapat mencakup hampir sebagian besar proses unit yang ditemukan di *wastewater treatment plant*, dimana di dalamnya juga terdapat model pengolahan *advanced nutrient removal*, *fixed-film operation*, pengolahan anaerob, pengendapan sekunder dan lain sebagainya (GPS-X, 2008).



Gambar 2.4. GPS-X Simulation Interface

Hampir seluruh proses biologi ASM sudah terintegrasi dalam *library* GPS-X. Model mantis yang dikembangkan oleh Hydromantis merupakan adaptasi dari model ASM1, dimana meliputi modifikasi *two additional growth processes*, yang pertama mengenai organisme autotrof dan yang kedua mengenai organisme heterotrof, baik yang terjadi pada kondisi ammonia rendah dan nitrat tinggi. Kemudian mantis 2 merupakan model terbaru yang mencakup sebagian banyak informasi yang diadaptasi dari model-model sebelumnya dan diterbitkan dalam

literatur selama decade terakhir. Proses tambahan dari mantis 2 diantaranya adalah proses presipitasi, nitrifikasi-annamox untuk penghilangan nitrogen dan presipitasi lainnya. (GPS-X Technical Reference, 2013)

Untuk setiap proses unit, atribut dan karakteristik yang menjadi ciri khas dari objek IPAL harus ditentukan terlebih dahulu. Sehingga beberapa parameter fisik seperti dimensi asli dari unit, parameter kinetik, serta parameter stoikiometri untuk reaktor biologi sudah harus disediakan terlebih dahulu untuk simulator. Kegunaan dalam mendesain, menganalisis, dan mengoptimisasi IPAL menggunakan GPS-X diantaranya adalah membandingkan berbagai desain IPAL, memverifikasi kapasitas pabrik yang ada, mengisolasi dan mengukur penyumbatan dalam cairan atau *solids line*, menilai potensi peningkatan debit limbah, mengidentifikasi strategi penghematan biaya (*energy usage, reduction, etc.*), mengevaluasi dampak teknologi terbaru serta mendukung regulasi yang ditetapkan pemerintah. (Serdarevic et.al., 2016).

2.9. Penelitian Terdahulu

GPS-X dapat digunakan untuk melakukan simulasi proses pengolahan limbah tipe anaerobik seperti *aerobic digester* & UASB. Selain itu GPS-X juga banyak digunakan pada simulasi model pengolahan limbah secara aerobik seperti lumpur aktif. Pada penelitian ini GPS-X akan digunakan untuk mensimulasikan *polishing unit* menggunakan proses *attached growth*.

Tabel 2.1. Ringkasan Penelitian Terdahulu

Software	Model	Unit	Skenario	Referensi
----------	-------	------	----------	-----------

GPS-X	Mantis2	Packed bed UASB + BAF	Pemodelan dan simulasi menggunakan <i>software</i> GPS-X untuk P-UASB yang diikuti oleh <i>Biological Aerated Filter</i> . Percobaan berupa simulasi HLR, OLR, dan luas permukaan dari <i>packing material</i> untuk mengetahui efisiensi pengolahan unit sekunder	S.I. Abou Elela, O. Hamdy, O. El Monayeri. 2016 (Int.Journal Env.Sci.Techol. 13: 1289-1298)
GPS-X	Anaerobic Digester Model (ADM1)	UASB	Menentukan kondisi operasional yang sesuai untuk unit AS (reaktor <i>oxic/anoxic</i> + clarifier), konfigurasi aerasi dan <i>operation values</i> untuk beberapa variabel terkontrol dalam rangka menyediakan ketersediaan energi berkelanjutan dengan memanfaatkan energi biogas. Parameter yang dipantau : BOD <i>removal</i> , produksi biogas, dan konsentrasi metana.	A. Meneses., D.I. Vargas, J.M. Grosso, A. Deeb, dan W. Vergara. 2011. (Water Practice & Technology)
	Activated Sludge Model (ASM1)	AS		
GPS-X	Activated Sludge Model (ASM1)	Conventional ASP	Melakukan perbandingan performa kedua unit menggunakan 2 parameter kinetik. Skenario berupa penurunan laju hidrolisis (kh) dari 2.81/hari menjadi 1/hari dan 1.5/hari untuk CASP dan MBBR, tingkat pertumbuhan biomassa autotrof (μ_A) pada CASP diturunkan dari 0.75/hari menjadi 0.36/hari.	N. Hvala, D. Vrecko, O. Burica, M. Strazar, dan M. Levstek. 2002. (Water Science and Tech. Vol.46 No.4-5 pp 325-332. IWA Publishing)
	Activated Sludge Model (ASM2)	MBBR		

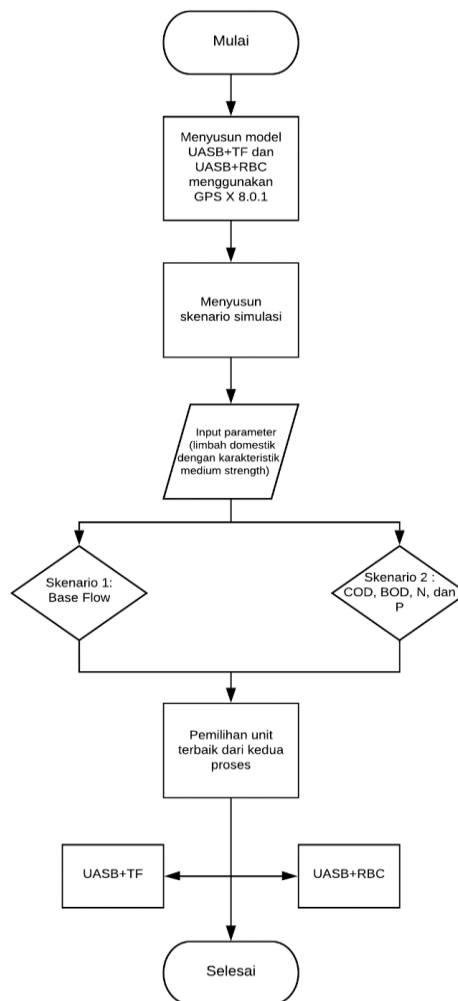
Dari ketiga referensi diatas, referensi yang paling mendekati topik dalam penelitian ini adalah referensi dengan skenario Pemodelan dan simulasi menggunakan *software* GPS-X untuk P-UASB yang diikuti oleh *Biological Aerated Filter*. Percobaan berupa simulasi HLR, OLR, dan luas permukaan dari *packing material* untuk mengetahui efisiensi pengolahan unit sekunder oleh Abou Elela et al., 2016.



BAB III

METODE PENELITIAN

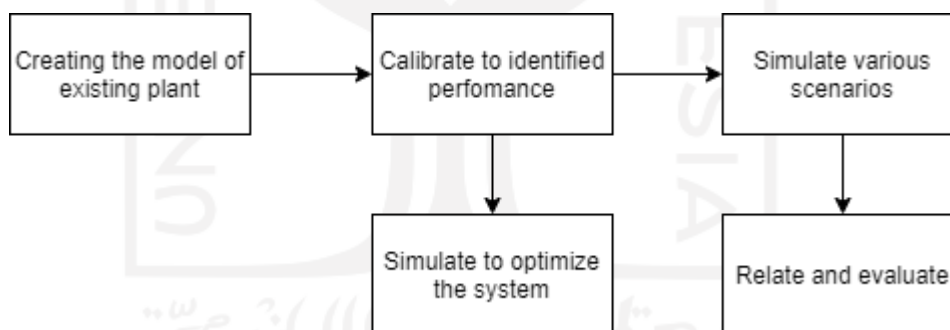
Pada metode penelitian diagram alir metode penelitian dapat digunakan untuk mendapatkan gambaran tentang langkah-langkah kegiatan yang akan dilakukan selama proses penelitian. Adapun diagram alir dari penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1. Diagram Alir Metode Penelitian Perbandingan Performa Proses Trickle Filter (TF) dan Rotating Biological Contactor (RBC) Sebagai Polishing Unit Dari Proses Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Melalui Model Simulasi Menggunakan Software GPS-X

3.1. Model GPS-X

Model matematika komputer memudahkan sistem yang didesain dapat dievaluasi tanpa harus membangunnya terlebih dahulu. Model simulasi pada penelitian ini digunakan untuk membandingkan *performance* dari masing-masing unit pengolahan sehingga didapatkan model terbaik. *Performance unit* ditentukan berdasarkan analisa perbandingan kedua unit biologis, yakni reaktor UASB ditambah TF dengan reaktor UASB ditambah RBC, dimana *trickling filter* dan *rotating biological contactor* sebagai post-treatment dari UASB. Gambar 3.2 menyajikan skema sederhana penggunaan GPS-X.



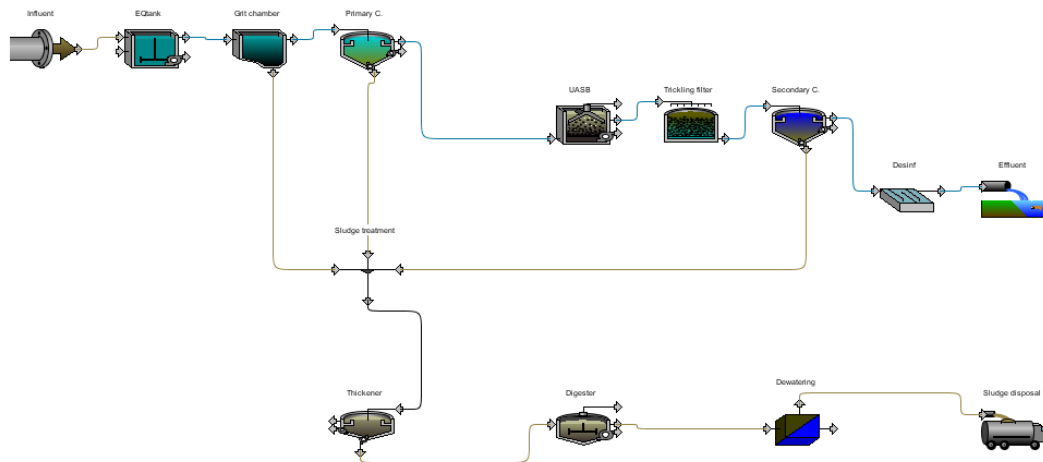
Gambar 3.2. Skema penggunaan software GPS-X

Sumber : Refinery Wastewater Process Modeling with GPS-X™ oleh Malcolm Fabiyi & John Joyce, 2016

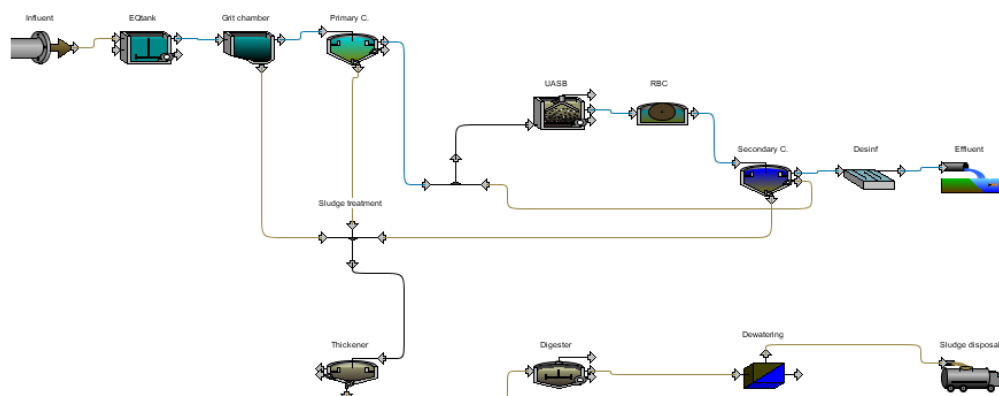
Dua model IPAL dibuat terpisah berdasarkan *sample layouts* dari model biologis Mantis2lib GPS-X (v8.0.1, Hydromantis Environmental Software Solutions, Inc., Hamilton, Canada). Proses pengolahan yang sudah ditentukan diimplementasikan ke dalam perangkat lunak yang digunakan untuk membangun

model individu. Sebelum membangun model, setiap unit dihubungkan dengan menggunakan titik koneksi yang sesuai dan setiap aliran diberi label yang sesuai. Pada model UASB+TF, *plug-flow version* didapat dengan menggabungkan model *anaerobic/oxic process* (ASM2 model), *trickling filter process* dan UASB *process example* yang terdapat dalam contoh *layout* mantis2lib. Model RBC sendiri terdiri dari unit *preliminary* yang didahului oleh bak equalisasi, dilanjutkan grit chamber, dan pada unit *primary* terdapat *circular primary clarifier*, kemudian *circular secondary clarifier* dilanjutkan desinfeksi. Hal yang sama berlaku untuk UASB+RBC. Gambar 3.3 menyajikan diagram *plant wide model* dari UASB+TF dan UASB+RBC sebagai model biologis IPAL.

a)



b)



Gambar 3.3. Diagram skematik model GPS-X sistem yang dianalisis:
(a) Upflow Anaerobic Sludge Blanket dengan Trickling Filter, (b) Upflow Anaerobic Sludge Blanket dengan Rotating Biological Contactor (RBC).

3.2. Parameter Input

Untuk memprediksi *performance* dari tiap proses pengolahan limbah yang dikombinasi, maka hubungan *input-output* perlu dikembangkan. Biasanya, hubungan *input-output* dibutuhkan untuk proses-proses pengolahan dengan waktu retensi yang pendek seperti *granular* dan *surface filtration*, serta *reverse osmosis* (Metcalf Eddy, 2003). Nilai parameter yang berkaitan dengan sifat dan operasional dinilai dapat memaksimalkan efektivitas sistem (Marta Bis et al., 2019).

Kondisi operasional kedua model adalah sebagai berikut:

TF	RBC
<ul style="list-style-type: none"> Debit dasar = 1000 m³/hari Filter bed depth = 2 m Filter bed surface = 474 m² Spesific surface of media = 100/m Liquid retention time in filter = 10 min Horizontal layer in filter = 6 MLSS (secondary clarifier) = 3000 mg/L Clarifier surface area = 100 m², water depth = 3 m Clarifier type = flat bottom 	<ul style="list-style-type: none"> Debit dasar = 1000 m³/hari RBC liquid volume = 850 m³/hari RBC media volume = 650 m³/hari Submerged fraction of biofilm = 90% Maximum biofilm thickness = 4 mm Spesific surface of media = 100/m MLSS (secondary clarifier) = 3000 mg/L S.Clarifier surface area = 100 m², water depth = 3 m Clarifier type = flat bottom

Pada model UASB dengan TF, luas permukaan filter adalah 474 m² dengan tinggi reaktor *trickling filter* sebesar 2 m. Limbah sisa pengolahan UASB dialirkan menuju reaktor *trickling filter* yang selanjutnya dialirkan menuju bak pengendap akhir. Tinggi dan luas permukaan bak pengendap akhir berturut-turut sebesar 3 m dan 100 m². Selanjutnya, sisa lumpur aerobik dari bak pengendap akhir diolah kembali pada pengolahan lumpur bersamaan dengan lumpur dari *grit* dan bak pengendap awal. Sistem yang sama berlaku pada model UASB dengan RBC, adapun *liquid volume* dan *media volume* dari RBC yang awalnya nilai *default* dari

layout yang tersedia di software GPS-X 8.0.1 yakni sebesar 500 m³ diubah menjadi 850 m² dan 650 m². Dalam masing-masing model, input komposisi air limbah masuk dan keluar digunakan untuk mendapatkan data *output*. Model yang digunakan pada influen adalah model codstates. Adapun karakteristik air limbah yang digunakan adalah jenis limbah domestik *medium strength* berdasarkan Metcalf Eddy 2003.

Data influen dan efluen yang digunakan dalam penelitian ini didapat dari influen yang masuk ke dalam unit UASB dari bak aequalisasi hingga unit desinfeksi. Besar laju aliran dari kedua model disamakan menjadi 1000 m³/hari. Kondisi operasional dan kriteria desain yang digunakan dari sistem yang dianalisis disajikan di tabel 3.1 sedangkan beberapa karakteristik influen terdapat pada tabel 3.2.

Tabel 3.1. Parameter kondisi fisik dan operasional sistem UASB, trickling filter, dan RBC. (a) UASB ; (b) trickling filter ; (c) RBC

a.

Operating Conditions	Reactor
	UASB
Dimensions (cm)	114*102*191
HRT (h)	6-8
Temperature (°C)	15-42
Up-flow velocity (m/h)	0.7-1.5
Flow rate (m ³ /d)	7
HLR (m ³ /m ² .d)	6.02
D.O (mg/L)	-
OLR (kg COD/m ³ .d)	(2-4) (8-12)
Surface area (m ² /m ³)	100

Sumber : Abou-Elela et al., 2015

b.

Design characteristics	Low or standard rate	Intermediate rate	High rate	High rate	Roughing
Type of packing	Rock	Rock	Rock	Plastic	Rock/plastic
Hydraulic loading (m ³ /m ² .d)	1-4	4-10	10-40	10-75	40-200
Organic loading (kg BOD/m ² .d)	0.07-0.22	0.24-0.48	0.4-2.4	0.6-3.2	>1.5
Recirculation ratio	0	0-1	1-2	1-2	0-2
Filter types	Many	Varies	Few	Few	Few
Sloughing	Intermittent	Intermittent	Continuous	Continuous	Continuous
Depth (m)	1.8-2.4	1.8-2.4	1.8-2.4	3-12.2	0.9-6
BOD Removal efficiency (%)	80-90	50-80	50-90	60-90	40-70
Effluent quality	Well nitrified	Some nitrification	No nitrification	No nitrification	No nitrification
Power (kW/100 m ³)	2-4	2-8	6-10	6-10	10-20

Sumber : Metcalf & Eddy, Inc. (1979) dan WEF (2000)

c.

Parameter	Unit	Treatment level		
		BOD removal	BOD removal and nitrification	Separate nitrification
Hydraulic loading	m ³ /m ² .d	0.08-0.16	0.03-0.08	0.04-0.1
	gBOD ₅ /m ² .d	4-10	2.5-8	0.5-1
Organic loading	gBOD/m ² .d	8-20	5-16	1-2
Maximum 1st sludge organic loading	gBOD ₅ /m ² .d	12-15	12-15	
	gBOD/m ² .d	24-30	24-31	
NH ₃ -N loading	gN/m ² .d		0.75-1.5	
Hydraulic retention time	h	0.7-1.5	1.5-4	1.2-3
Effluent BOD	mg/L	15-30	7-15	7-15
Effluent NH ₃ -N	mg/L		<2	1-2

Wastewater temperature above 13°C

Sumber : Metcalf Eddy, 2003

Tabel 3.2. Karakteristik influen sistem UASB+TF dan UASB+RBC

Contaminants	Unit	Value
Total solids (TS)	mg/L	720
Total dissolved solids (TDS)	mg/L	500
Fixed	mg/L	300
Volatile	mg/L	200
Total suspended solids (TSS)	mg/L	210
Fixed	mg/L	50
Volatile	mg/L	160
Settleable solids	mL/L	10
Biochemical oxygen demand, 5d (BOD5)	mg/L	190
Total organic carbon (TOC)	mg/L	140
Chemical oxygen demand (COD)	mg/L	430
Nitrogen (as TN)	mg/L	40
Organic	mg/L	15
Free ammonia	mg/L	25
Nitrites	mg/L	0
Nitrates	mg/L	0
Phosphorus (as TP)	mg/L	7
Organic	mg/L	2
Inorganic	mg/L	5
Chlorides (Cl)	mg/L	50
Sulfate (SO ₄) ₂ -	mg/L	30
Oil and Grease	mg/L	90
Volatile organic compounds (VOCs)	mg/L	100-400
Total coliform	No./100 mL	10 ⁷ - 10 ⁹
Fecal coliform	No./100 mL	10 ⁴ - 10 ⁶
<i>Cryptosporidium</i> oocysts	No./100 mL	10 ⁻¹ - 10 ¹
<i>Giardia lamblia</i> cysts	No./100 mL	10 ⁻¹ - 10 ²

Sumber : Wastewater Medium Strength Concentration, Metcalf Eddy, 2003

Dalam model GPS-X 8.0.1, terdapat beberapa nilai kontaminan yang nilainya dapat disesuaikan dengan data karakteristik limbah yang ada, baik dari hasil uji laboratorium atau pun dari data studi literatur. *Influent characterization* yang terdapat pada model terbagi menjadi *user input* dan *composite variables*. Pada *user input*, nilai masing-masing kontaminan dapat diubah sesuai data yang diinginkan namun pada *composite variables* nilai kontaminan tidak dapat diubah. Di bawah ini

merupakan beberapa nilai yang dijadikan acuan dalam menjalankan scenario simulasi GPS-X.

Tabel 3.3. Tabel User Input yang dijadikan scenario dalam simulasi GPS-X

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

3.3. Skenario Simulasi

Skenario digunakan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perubahan suatu input parameter terhadap kondisi dinamis dalam aliran dengan hasil konsentrasi limbah yang sudah diolah. Dalam model simulasi ini, kinerja IPAL dapat diamati selama waktu yang ditentukan serta dalam keadaan *steady*. Keadaan *steady* adalah keadaan dimana jumlah cairan yang mengalir per detik adalah konstan terhadap waktu. Di bawah ini merupakan deskripsi dari ketiga skenario yang digunakan dalam penelitian ini.

- Skenario 1 (*Flow Rate Scenario*)

Skenario pertama membandingkan performa unit biologis UASB dengan *trickling filter* sebagai *post-treatment* dan UASB dengan RBC sebagai *post-treatment* dengan cara menaikkan besar laju aliran menjadi 1,3x; dan 2x ; dari besar *base flow* (1000 m³/hari) menjadi 1300 m³/hari dan 2000 m³/hari.

- Skenario 2 (*Concentration Load Scenario*)

Pada skenario ini, masing-masing konsentrasi influen pada *input control* simulasi GPS-X yang diantaranya COD, ammonia nitrogen, TKN, dan TP dari kedua model dinaikan menjadi 1,5x dan 1,7x dari besar konsentrasi awal. Sementara debit pada skenario ini dijadikan tetap, yaitu sebesar 1000 m³/hari. Besar masing-masing konsentrasi yang dinaikkan menjadi 1,5x dan 1,7x dari konsentrasi dasar terdapat pada tabel 3.4.

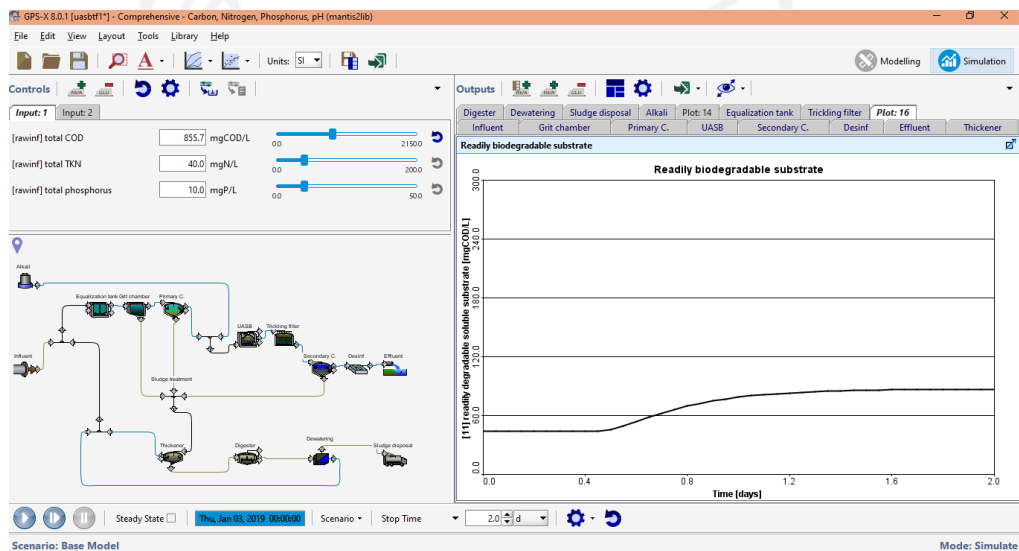
- Skenario 3 (*Mixed Scenario*)

Skenario ketiga merupakan penggabungan dari skenario *flow rate* dengan *concentration load*. Dimana pada saat debit 1300 m³/hari, nilai konsentrasi influen dinaikkan menjadi 1,5x dan 1,7x dari besar konsentrasi influen dasar. Begitu juga untuk debit 2000 m³/hari, nilai konsentrasi influen dinaikkan menjadi 1,5x dan 1,7x dari besar konsentrasi influen dasar.

Tabel 3.4. Skenario Simulasi IPAL GPS-X 8.0.1

Skenario	Parameter	Satuan	Concentration Load	
			1.5x	1.7x
Skenario 1 (Flow rate Scenario)	flow (konsentrasi tetap)	m ³ /day	1300	2000
Skenario 2 (Concentration Load Scenario)	flow	m ³ /d	1000 (tetap)	1000 (tetap)
	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	g/m ³	240	272
	total cBOD5	gO ₂ /m ³	285	323
Skenario 3 (Mixed Scenario: Flow 1.3x + Concentration Load 1.5x; 1.7x)	flow	m ³ /d	1300 (tetap)	1300 (tetap)
	total suspended solids	mg/L	315	357
	volatile suspended solids	mg/L	240	272
	total cBOD5	mgO ₂ /L	285	323
	total COD	mgCOOD/L	645	731
	ammonia nitrogen	mgN/L	37.5	42.5

Skenario 3 (Mixed Scenario: Flow 2x + Concentration Load 1.5x; 1.7x)	total TKN	mgN/L	60	68
	total phosphorus	mgP/L	15	17
	flow	m ³ /d	2000 (tetap)	2000 (tetap)
	total suspended solids	mg/L	315	357
	volatile suspended solids	mg/L	240	272
	total cBOD5	mgO ₂ /L	285	323
	total COD	mgCOOD/L	645	731
	ammonia nitrogen	mgN/L	37.5	42.5
	total TKN	mgN/L	60	68
	total phosphorus	mgP/L	15	17



Gambar 3.4. Contoh Simulasi IPAL dengan software GPS-X

Gambar diatas merupakan contoh simulasi model IPAL menggunakan GOS-X. Adapun setelah model kedua unit IPAL pada GPS-X disimulasikan, hasil effluen kedua unit IPAL kemudian dibandingkan dengan baku mutu air limbah sehingga diperoleh mana unit yang terbaik. Dalam hal kandungan efluen yang masih belum memenuhi baku mutu, dilakukan sebuah simulasi guna mencari parameter apa yang perlu diperbaiki/diganti sehingga tidak ada satupun kandungan dalam efluen dari kedua IPAL yang tidak memenuhi baku mutu.

3.4. Pemilihan Unit

Masing-masing *polishing unit* dari UASB memiliki kelebihan dan kekurangan. Pada jenis *low rate trickling filter*, keuntungan dari unit ini diantaranya memiliki efisiensi removal BOD yang tinggi yakni sebesar 85-93%, kebutuhan lahan yang kecil, dan lain-lain. Sedangkan kekurangan pada unit ini adalah memiliki biaya konstruksi yang tinggi, sensitive terhadap beban beracun, dan lain-lain (Vonsperling, 1996). Sedangkan unit RBC dapat diaplikasikan untuk berbagai kebutuhan, baik untuk buangan industri ataupun air limbah perkotaan, kebutuhan lahan kecil, dapat bertahan dengan kejutan beban organik, biaya pemeliharaan dan energi rendah. Namun, unit ini memiliki masalah bau, resiko kerusakan pada peralatan pemutar (*shaft*), dan lain-lain (Referensi Opsi Sistem dan Teknologi Sanitasi, 2010).

Tujuan dilakukannya perbandingan kedua unit *post-treatment* UASB melalui model simulasi GPS-X adalah agar mengetahui performa terbaik diantara *trickling filter* dan *rotating biological contactor*. Dari masing-masing unit, akan dilakukan pengamatan kualitas *effluent* dengan parameter yang diamati diantaranya yaitu BOD₅, COD, TKN, TSS dan TP. Pengamatan kualitas *effluent* dilakukan melalui perbandingan nilai efisiensi removal. Adapaun nilai efisiensi removal dari masing-masing unit adalah sebagai berikut.

Tabel 3.5. Efisiensi Removal Masing-masing Unit
Berdasarkan Studi Literatur

Unit pengolahan	Nilai efisiensi removal					
	BOD	COD	TS	P	Org-N	NH3-N
UASB	60-80	60-80	30-40	10-20	10-25	15-50
Low Rate Trickling Filter	85-93	60-80	60-85	30-45	30-40	8-15
Rotating Biological Contactor	60-85	80-85	80-85	10-25	15-50	8-15

Sumber : Metcalf & Eddy, 2002, dan Qasim, 1998.

Dari kedua unit IPAL yang sebelumnya sudah disimulasi, selanjutnya dilakukan pengamatan berdasarkan hasil simulasi model. Besar konsentrasi *output variable* atau limbah effluen dari masing-masing parameter kemudian dibandingkan dengan baku mutu air limbah yang mengacu pada Permen.LHK No.68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik seperti pada tabel 3.6.

Setelah mendapat perbandingan hasil simulasi kedua unit IPAL, kemudian ditentukan mana *polishing unit* terbaik untuk UASB dalam hal penyisihan kandungan COD dan nitrogen. Jika terdapat hasil effluen yang tidak memenuhi baku mutu baik untuk IPAL A (UASB+TF) atau IPAL B (UASB+RBC), akan dilakukan optimasi baik dari segi parameter operasional maupun parameter lainnya sehingga ditemukan solusi untuk IPAL tersebut.

Tabel 3.6. 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
Amoniak	mg/L	10
Total coliform	jumlah/100 mL	3000
Debit	L/org/hari	100

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Skenario Simulasi Model IPAL

Software GPS-X versi 8.0.1 yang dikembangkan oleh Hydromantis Environmental Software Solutions, Inc. yang digunakan dalam penelitian ini adalah model komprehensif yang telah banyak digunakan untuk sistem pengolahan air limbah terutama proses biologis secara terintegrasi (ASP dan *anaerobic digestion system/ADS*). Tidak hanya proses biologi yang dilibatkan melainkan proses fisik dan reaksi kimia. Model mantis terintegrasi ke dalam software GPS-X hasil adaptasi ulang model ASM1, dengan memasukkan beberapa perubahan mengenai proses *additional growth* yang terkait dengan organisme heterotrof dan autotrof. Pada penelitian ini, model yang ada didesain dalam suatu *carbon and nitrogen custom components library* pada GPS-X dibawah Mantis dan *Simple1d clarifier model*. Model ini terdiri atas lebih dari 60 *composite and state variables* dengan beberapa *libraries of expressions* yang menggambarkan proses dengan lebih dari 30 stoikiometri dan 24 parameter input dan output kinetik (Hydromantis GPS-X Technical Reference, 2017).

Penggunaan dari UASB sendiri masih termasuk jenis pengolahan primer yang membutuhkan *post-treatment* untuk mendapatkan kualitas effluent yang baik dan sesuai untuk penggunaan kembali air limbah (El Gohary et al. 1998). Masih belum terpenuhinya baku mutu air limbah jika hanya menggunakan UASB menjadikan alasan penggunaan *polishing* unit. Penggunaan TF dan RBC dalam penelitian ini adalah sebagai unit pengolahan tambahan dari UASB agar hasil final limbah yang masuk ke dalam badan air tidak mencemari lingkungan. Keduanya kemudian dibandingkan masing-masing performanya dalam scenario tertentu untuk mengetahui mana yang lebih baik untuk dijadikan pos tambahan unit UASB dalam segi konsentrasi polutan.

Dalam penelitian ini, suhu pada kedua model konstan, konsentrasi oksigen terlarut konstan, pH stabil dan mendekati netral, serta koefisien model diasumsikan sama untuk setiap karakteristik influen.

4.2. Tahapan Penyusunan Model GPS-X

Tahapan dari kedua model yang dibangun dalam penelitian dilakukan melalui simulasi GPS-X 8.0.1 yang diantaranya:

1. Melakukan pengumpulan data yang diperlukan
2. Penggambaran IPAL yang direncanakan
3. Pemilihan objek model melalui konstruksi tata letak berdasarkan IPAL yang sebelumnya direncanakan
4. Melakukan karakterisasi parameter kualitas air limbah influen (memasukkan nilai yang mudah diukur yaitu COD, NO₂, NO₃, Ammonia dan Total Nitrogen)
5. Melakukan penyesuaian fraksinasi komponen input organik dan anorganik
6. Menjalankan model dan kalibrasi melalui penyesuaian faktor kinetik, stoikiometri, dan parameter lainnya yang relevan dengan model untuk mendapat nilai yang pas antara output pemodelan dengan kondisi actual
7. Validasi model yang dikalibrasi menggunakan kumpulan data kualitas air limbah
8. Menjalankan simulasi di bawah skenario yang berbeda untuk menganalisis pengaruh operasional yang relevan dengan parameter kapasitas dan kinerja kedua model IPAL dalam hal kualitas limbah akhir.

4.3. Kalibrasi Data dan Validasi Model

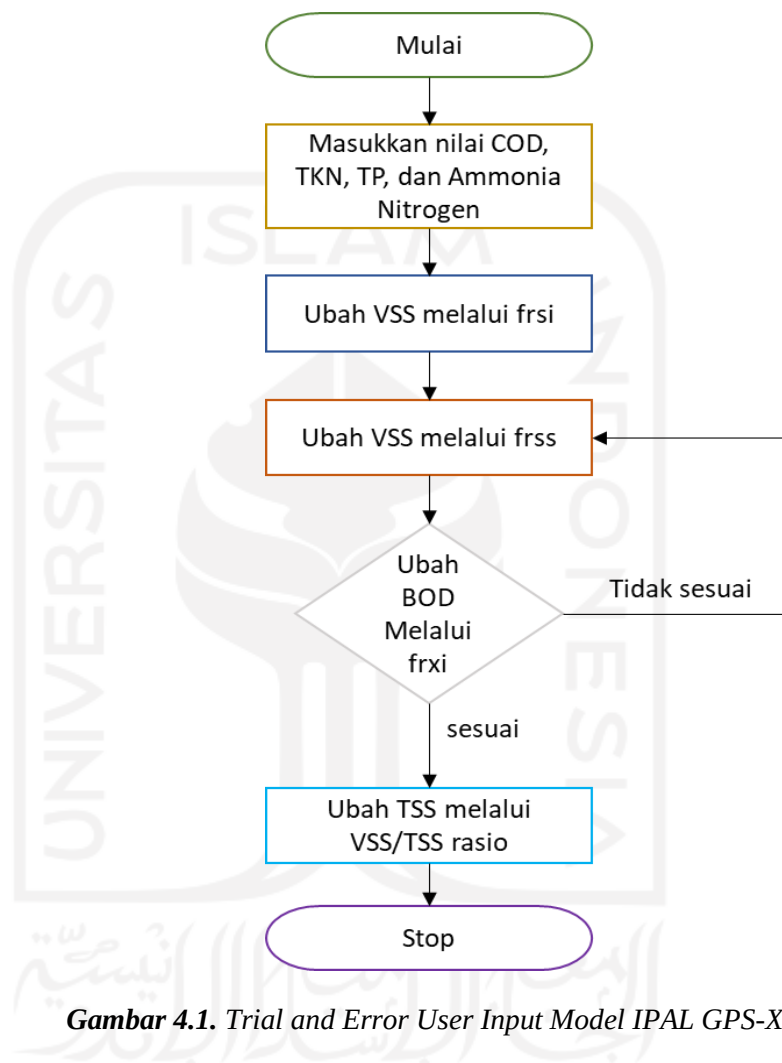
Secara umum, karakterisasi air limbah dapat dilakukan dengan menggunakan 2 pendekatan yang berbeda (Fenu et al., 2010) yakni pengukuran secara eksperimental dengan metode fisika/kimia/biologi (Tran et al., 2015) dan prosedur

'*trial and error*' yang bertujuan untuk menyesuaikan observasi yang bersifat eksperimen atau observasi secara langsung dengan simulasi model yang disesuaikan dengan parameter karakteristik air limbah yang berbeda-beda.

Dalam penelitian ini, kalibrasi melalui *trial and error* dan ditemukan cara menargetkan perhitungan/estimasi *best-fitted parameters* berdasarkan data yang ditetapkan secara spesifik pada tahapan metode (Limbah kategor medium strength, Metcalf Eddy, 2003). Data kualitas air limbah *medium strength* digunakan untuk kalibrasi awal menggunakan nilai parameter *default* GPS-X. Hal tersebut dapat dicapai dengan melakukan karakterisasi komposisi/input yang paling memiliki pengaruh bagi kesetimbangan massa. Dalam penelitian ini, nilai input dalam *user input* GPS-X yang membutuhkan nilai default fraksinasi influen, tabel 4.1. menyajikan nilai *default* dan *adjusted* model IPAL UASB yang diantaranya adalah kategori *influent fractions* yaitu VSS/TSS ratio atau *ivsstotss* dengan nilai awal 0.75 menjadi 0.762, kemudian pada kategori *organic fractions* parameter yang berubah diantaranya *soluble inert fraction of total COD*, *readily biodegradable fractions of total COD*, dan *particulate iners of*, atau nilai *frsi*, *frss*, *frsxi* berturut-turut 0.05; 0.2; dan 0, menjadi 0.06; 0.237; dan 0.2502. Sedangkan gambar 4.1 menyajikan skema *trial and error* sebagai metode kalibrasi untuk karakterisasi air limbah.

Tabel 4.1. Default Dan Adjusted Value Pada Model IPAL GPS-X

Komponen	Kategori	Parameter	Simbol	Satuan	Default Value	Adjusted Value
User Input	Influent Fractions	VSS/TSS ratio	ivsstotss	gVSS/g TSS	0.75	0.762
	Organic Fractions	Soluble inert fraction of total COD	frsi	-	0.05	0.06
		Readily biodegradable fractions of total COD	frss	-	0.2	0.237
		Particulate inert fraction of ...	frxi	-		0.2502



Gambar 4.1. Trial and Error User Input Model IPAL GPS-X

4.4. Layout IPAL

Reaktor UASB yang menerima air limbah kota/*municipal wastewater* setelah sebelumnya melewati tahap pengolahan pendahuluan (skrining dan pembuangan pasir). Limbah dari Reaktor UASB pada *plant wide* I diarahkan ke unit TF dan pada *plant wide* II diarahkan ke unit RBC untuk diolah terlebih dahulu.

Setelah melewati tahap primer, air limbah kemudian melewati tahap sekunder yaitu bak sedimentasi II dan tahap tertier yaitu desinfeksi untuk siap dibuang ke badan air. Unit *trickling filter* dan *rotating biological contactor* menerima aliran rata-rata 1000 m³/hari serta laju pemuatan massa rata-rata kebutuhan oksigen kimia (COD) sebesar 430 gCOD/m³ per hari.

Tabel 4.2 menyajikan nilai konsentrasi effluen dari masing-masing parameter yang ada pada setiap skenario dalam sistem pengolahan, disertai dengan efisiensi removal berdasarkan besar konsentrasi. Nilai masing-masing effluen UASB yang belum ditambahkan *polishing unit* juga disajikan pada tabel 4.2 secara berurutan untuk memungkinkan interpretasi yang lebih baik tentang performa dari sistem IPAL itu sendiri.

Secara keseluruhan, *polishing unit* UASB pada masing-masing unit pengolahan (TF dan RBC) jika dilihat hanya dari nilai effluent IPAL (bukan dari unit sekunder) maka penghapusan materi organik dapat dikatakan cukup baik, seperti ditunjukkan dalam tabel persen removal untuk sistem dengan unit UASB+TF dan unit UASB+RBC adalah berturut-turut: TSS sebesar 98%, VSS sebesar 98% dan 99%, BOD sebesar 100% dan 99%, COD sebesar 93%, ammonia nitrogen sebesar 100% dan 96%, TKN sebesar 98% dan 93%, TN sebesar 34% dan 82%, dan TP sebesar 25% dan 16%. Namun simulasi tersebut masih dalam masa percobaan simulasi selama 2 hari, dalam keadaan *steady* serta konsentrasi dan flow yang masih pada nilai dasar.

Tabel 4.2. *Persen Removal Unit UASB dengan Konsentrasi Dasar Berdasarkan Simulasi GPS-X 8.0.1*

Constituent (Base Flow & Concentration)	Concentrations (mg/L)			Removal efficiencies (%)	
	Raw sewage	UASB+T F eff	UASB+RB C eff	IPAL A	IPAL B
TSS	210.0	4.0	5.0	98	98
VSS	160.0	2.6	1.3	98	99
BOD	190.0	0.7	2.5	100	99
COD	430.0	30.8	31.0	93	93

Ammonia Nitrogen	25.0	0.0	0.9	100	96
TKN	40.0	0.9	2.6	98	93
TN	40.0	26.4	7.3	34	82
TP	10.0	7.5	8.4	25	16

4.5. Perbandingan Performa IPAL UASB+TF dan IPAL UASB+RBC

Hasil performa IPAL A dengan unit *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* dengan *Trickling Filter* sebagai pos tambahan, dan IPAL B dengan unit *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* dengan *Rotating Biological Contactor* sebagai pos tambahan akan terangkum menjadi 3 subab. Subab tersebut terbagi atas dasar skenario yang telah dijalankan, yaitu skenario 1, skenario 2, dan skenario 3. Dibawah ini merupakan hasil persen removal pada skenario dasar di masing-masing IPAL A dan IPAL B.

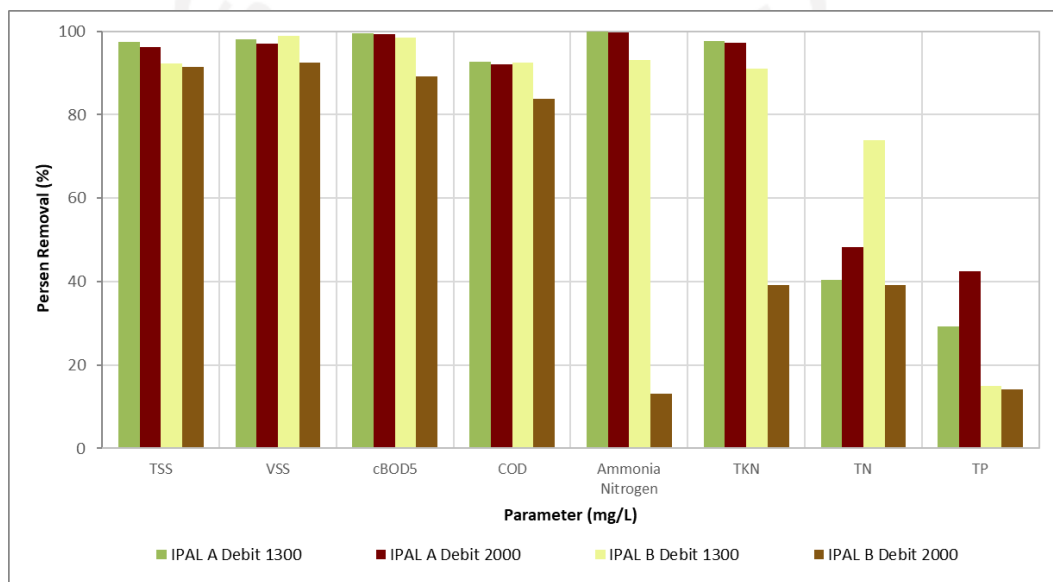
4.5.1. Hasil Simulasi Skenario 1 (*Flow Rate Scenario*)

Dalam skenario ini, hasil effluent dari awal hingga akhir IPAL yakni mulai dari unit bak equalisasi hingga unit pada terakhir yaitu unit desinfeksi pada masing-masing IPAL A dan IPAL B, dilakukan dengan menaikkan debit air limbah sebagai pembanding. Adapun debit IPAL yang digunakan pada skenario dasar adalah sebesar 1000 m³/hari dengan parameter kualitas air limbah disesuaikan dengan skenario parameter dasar. Debit air limbah dinaikan berturut-turut sebesar 1,3x dan 2x dari debit dasar hingga berturut-turut menjadi 1300 m³/hari dan 2000 m³/hari. Besar effluent pada setiap unit pada IPAL baik IPAL A dan IPAL B pada simulasi skenario 1 terlampir.

Dalam skenario ini, IPAL B dengan unit sekunder UASB dan RBC memiliki hasil simulasi yang di dalamnya terdapat parameter yang belum memenuhi baku mutu, yaitu parameter ammonia nitrogen dengan hasil efluen sebesar 21,7 mg/L yang seharusnya kurang dari 10 mg/L NH₄-N (tabel 4.3).

Tabel 4.3.. Hasil Simulasi Skenario 1 (Debit 2x)

		rawinf	effluent	BMAL	Status
Flow	m ³ /d	2000.00	1989.96	-	-
TSS	mg/L	210.00	17.87	30	Memenuhi
VSS	mg/L	160.02	11.91	-	-
cBOD ₅	mgO ₂ /L	190.00	20.46	30	Memenuhi
COD	mgCOD/L	430.00	69.38	100	Memenuhi
Ammonia Nitrogen	mgN/L	25.00	21.70	10	Tidak Memenuhi
TKN	mgN/L	40.00	24.33	-	-
TN	mgN/L	40.00	24.38	-	-
TP	mgP/L	10.00	8.58	-	-



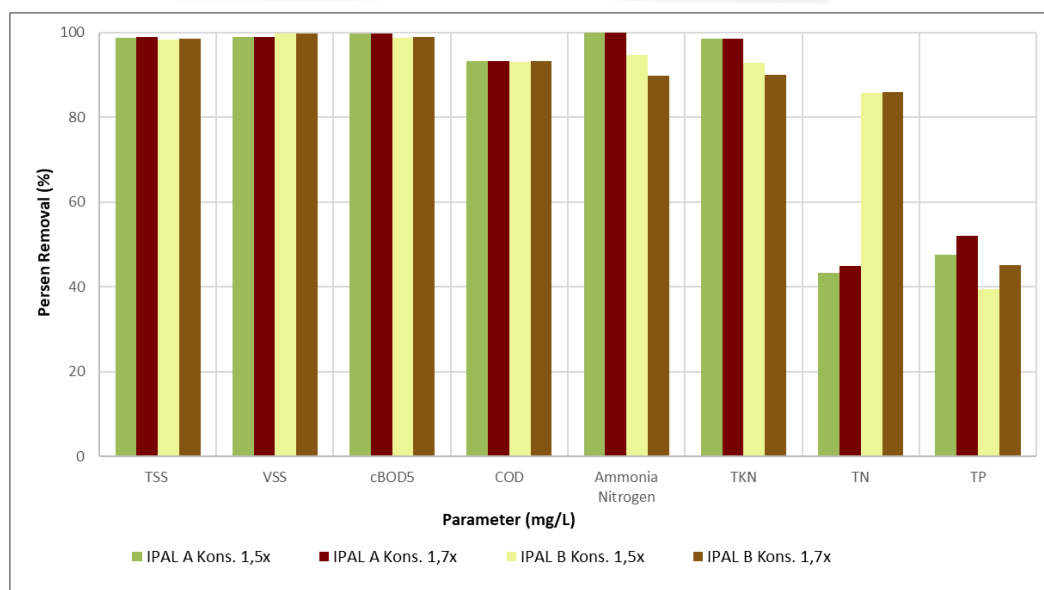
Gambar 4.2. Skenario 1 (Flow Rate Scenario)-Persen Removal IPAL A vs IPAL B

Gambaran mengenai persen removal IPAL untuk membandingkan performa IPAL A&B pada skenario 1 terlihat dari grafik di atas, semakin tinggi debit maka semakin kecil nilai persen removal pada masing-masing IPAL. Pada unit UASB dengan TF baik untuk debit 1300 m³/hari dan 2000 m³/hari memiliki grafik yang cenderung mengalami penurunan pada parameter TSS, VSS, BOD₅, dan COD. Sedangkan pada parameter NH₃-N dan TKN besar persen removal adalah sebesar 100% pada debit 1,3x maupun debit 2x dan pada parameter TN dan TP debit 1,3x mengalami penurunan.

Kemudian pada unit UASB dengan RBC, baik debit pada 1,3x dan 2x, besar persen removal pada parameter TSS lebih rendah dibandingkan VSS, sedangkan pada parameter BOD₅, COD, hingga TP cenderung mengalami penurunan. Unit IPAL B skenario 1 dengan debit sebesar 2000 m³/hari memiliki nilai ammonia nitrogen yang melebihi baku mutu yakni sebesar 21,7 mg/L.

4.5.2. Hasil Simulasi Skenario 2 (*Concentration Load*)

Dalam skenario ini, debit IPAL tidak diberikan skenario (debit dasar) sedangkan konsentrasi dinaikan menjadi 1,5 kali dan 1,7 kali dasar. Adapun debit IPAL yang digunakan pada skenario dasar adalah sebesar 1000 m³/hari dengan besar dari parameter kualitas air limbah disesuaikan dengan karakteristik limbah medium strength. Parameter yang terdapat dalam *input control* simulasi GPS-X diantaranya adalah COD, ammonia nitrogen, TKN, dan TP dinaikan berturut-turut sebesar 1,3x dari konsentrasi dasar berturut-turut sebesar 430; 25; 40; 10 mg/L menjadi 645; 37,5; 60; dan 15 mg/L. Kemudian dinaikan kembali sebesar 1,7x dari konsentrasi dasar sehingga menjadi berturut-turut 731; 42,5; 68; 17 mg/L. Sedangkan besar effluent pada setiap unit pada IPAL baik IPAL A dan IPAL B pada simulasi skenario 2 terlampir. Di bawah ini terdapat grafik persen removal untuk membandingkan performa IPAL A&B pada skenario 2:



Gambar 4.3. Skenario 2 (*Concentration Load Scenario*)-Persen Removal IPAL A vs IPAL B

Pada grafik di atas, hasil simulasi IPAL A dan IPAL B baik pada konsentrasi 1,5x dan 1,7x memiliki besar persen removal yang cenderung sama pada parameter TSS, VSS, BOD₅ kemudian pada parameter COD mengalami penurunan dari parameter sebelumnya untuk semua konsentrasi baik pada IPAL A dan IPAL B.

Pada IPAL A, terlihat pada grafik nilai persen removal pada parameter NH₃-N dan TKN lebih unggul dibandingkan IPAL B, juga cenderung memiliki nilai yang serupa dan memiliki nilai persen removal yang rendah pada tiap parameter TN dan TP. Sedangkan pada IPAL B besar persen removal TN lebih unggul dibandingkan IPAL A. Untuk besar persen removal parameter NH₃-N, TKN, dan TN pada IPAL B mengalami penurunan yang tidak begitu signifikan. Sedangkan untuk parameter TP memiliki nilai persen removal yang tidak begitu tinggi, baik pada IPAL A maupun IPAL B.

4.5.3. Hasil Simulasi Skenario 3 (*Mixed Scenario*)

Dalam skenario ini, debit IPAL dinaikan dari 1000 m³/hari menjadi 1300 m³/hari dan 2000 m³/hari di masing-masing parameter *input control* COD, ammonia nitrogen, TKN, dan TP yang dinaikan menjadi 1,5 kali dan 1,7 kali konsentrasi dasar. Parameter yang terdapat dalam *input control* simulasi GPS-X yakni COD, ammonia nitrogen, TKN, dan TP dinaikan menjadi 1,3x dari konsentrasi dasar sehingga yang awalnya berturut-turut sebesar 430; 25; 40; 10 mg/L menjadi 645; 37,5; 60; dan 15 mg/L untuk masing-masing debit 1300 m³/hari dan 2000 m³/hari. Kemudian dalam skenario ini, konsentrasi COD, ammonia nitrogen, TKN, dan TP juga dinaikan sebesar 1,7x dari konsentrasi dasar hingga menjadi berturut-turut sebesar 731; 42,5; 68; 17 mg/L untuk masing-masing debit 1300 m³/hari dan 2000 m³/hari.

Dalam skenario ini, IPAL B dengan unit sekunder UASB dan RBC memiliki hasil simulasi yang di dalamnya terdapat beberapa parameter yang belum memenuhi baku mutu, terutama parameter COD dan ammonia nitrogen.

(a)

		rawinf	effluent	BMAL	Status
Flow	m ³ /d	1300.00	1289.97	-	-
TSS	mg/L	315.01	9.59	30	Memenuhi
VSS	mg/L	240.03	2.27	-	-
cBOD5	mgO ₂ /L	285.00	4.17	30	Memenuhi
COD	mgCOD/L	645.00	47.79	100	Memenuhi
Ammonia Nitrogen	mgN/L	37.50	13.94	10	Tidak Memenuhi
TKN	mgN/L	60.00	16.39	-	-
TN	mgN/L	60.00	18.96	-	-
TP	mgP/L	15.00	9.59	-	-

(b)

		rawinf	effluent	BMAL	Status
Flow	m ³ /d	1300.00	1289.97	-	-
TSS	mg/L	357.01	24.20	30	Memenuhi
VSS	mg/L	272.04	11.13	-	-
cBOD5	mgO ₂ /L	323.00	5.26	30	Memenuhi
COD	mgCOD/L	731.00	68.96	100	Memenuhi
Ammonia Nitrogen	mgN/L	42.50	26.60	10	Tidak Memenuhi
TKN	mgN/L	68.00	30.14	-	-
TN	mgN/L	68.00	31.98	-	-
TP	mgP/L	17.00	10.87	-	-

(c)

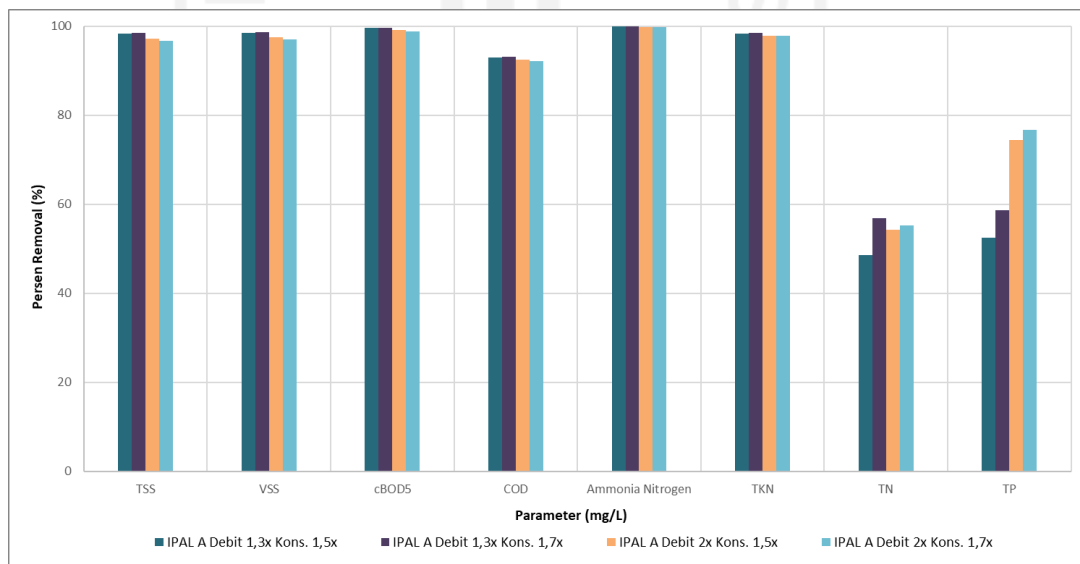
		rawinf	effluent	BMAL	Status
Flow	m ³ /d	2000.00	1989.96	-	-
TSS	mg/L	315.01	56.61	30	Tidak Memenuhi
VSS	mg/L	240.03	36.63	-	-
cBOD5	mgO ₂ /L	285.00	10.90	30	Memenuhi
COD	mgCOD/L	645.00	107.33	100	Tidak Memenuhi
Ammonia Nitrogen	mgN/L	37.50	33.31	10	Tidak Memenuhi
TKN	mgN/L	60.00	38.91	-	-
TN	mgN/L	60.00	39.11	-	-

TP	mgP/L	15.00	11.49	-	-
-----------	--------------	-------	-------	---	---

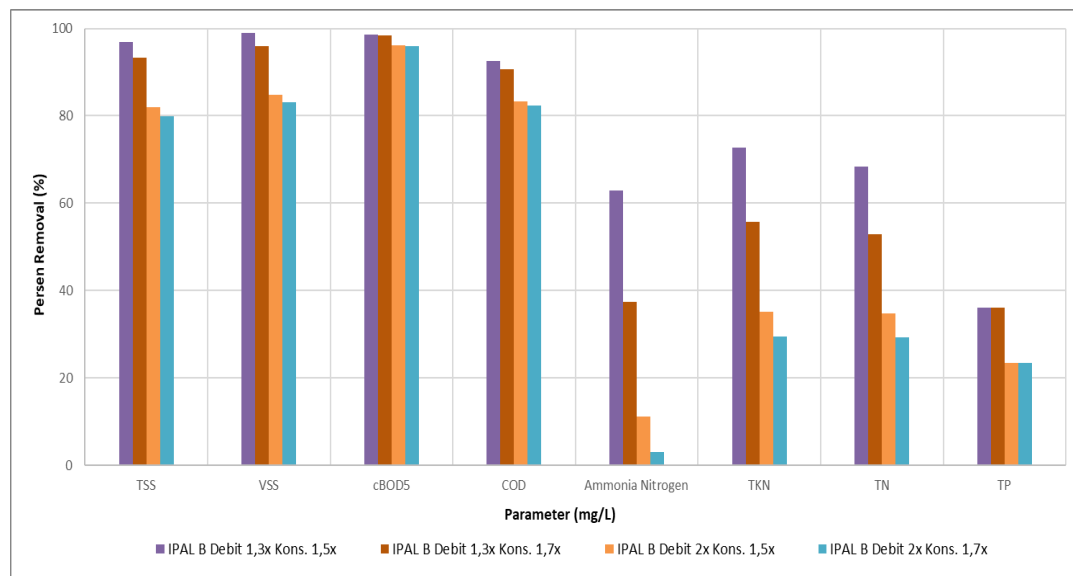
(d)

		rawinf	effluent	BMAL	Status
Flow	m3/d	2000.00	1989.96	-	-
TSS	mg/L	357.01	71.47	30	Tidak Memenuhi
VSS	mg/L	272.04	45.77	-	-
cBOD5	mgO2/L	323.00	12.95	30	Memenuhi
COD	mgCOD/L	731.00	128.84	100	Tidak Memenuhi
Ammonia Nitrogen	mgN/L	42.50	41.22	10	Tidak Memenuhi
TKN	mgN/L	68.00	47.96	-	-
TN	mgN/L	68.00	48.09	-	-
TP	mgP/L	17.00	13.03	-	-

Untuk besar effluent pada masing-masing unit pengolahan pada IPAL baik IPAL A dan IPAL B pada simulasi skenario 3 terdapat di lampiran. Di bawah ini terdapat grafik persen removal secara keseluruhan untuk semua parameter guna membandingkan performa IPAL A&B pada skenario 3.



(a) IPAL UASB-TF



(b) IPAL UASB-RBC

Gambar 4.4. Skenario 3 (Mixed Scenario): .a. Persen Removal IPAL A; b. Persen Removal IPAL B

Pada skenario debit 1,3x konsentrasi 1,5x, nilai TSS, VSS, BOD₅ dan COD baik untuk IPAL A dan IPAL B memiliki perbedaan nilai persen removal yang tidak begitu tinggi. Sedangkan untuk parameter Ammonia Nitrogen dan TKN, IPAL A memiliki nilai yang lebih unggul dibandingkan IPAL B, dimana IPAL A memiliki persen removal ammonia nitrogen, TKN, dan TP berturut-turut sebesar 100%; 98%; dan 52%, sedangkan IPAL B hanya mencapai 63%; 73%; dan 36%. Berbeda dengan parameter TN, persen removal IPAL B jauh lebih unggul jika dibandingkan dengan IPAL A.

Selanjutnya pada skenario debit 1,3x dan konsentrasi 1,7 kali, nilai TSS, VSS, BOD₅ dan COD baik untuk IPAL A maupun IPAL B juga memiliki perbedaan nilai persen removal yang tidak begitu tinggi. Untuk parameter ammonia nitrogen, TKN, dan TP, persen removal IPAL A jauh lebih unggul dibandingkan dengan IPAL B. Sedangkan untuk persen removal ammonia nitrogen IPAL B lebih unggul dibandingkan IPAL A.

Kemudian pada grafik di atas, hasil simulasi skenario dengan perbesaran debit 2x dan konsentrasi 1,5x, memiliki selisih yang cukup jauh antar IPAL A

dengan IPAL B dimana IPAL A jauh lebih unggul pada setiap parameter dibandingkan dengan IPAL B, terlebih lagi pada parameter ammonia nitrogen, TKN, TN dan TP.

Pada hasil simulasi debit 2x dan konsentrasi 1,7x nilai persen removal parameter organik TSS, VSS, BOD₅, COD memiliki nilai yang lebih rendah jika dilihat dari semua jenis skenario yang terdapat di skenario 3. Selisih antar IPAL A dengan IPAL B yang cukup jauh juga terlihat dalam grafik diatas dimana IPAL A lebih unggul dibandingkan IPAL B. Pada parameter anorganik seperti ammonia nitrogen, persen removal IPAL A sangat jauh dengan IPAL B dimana IPAL A dapat mencapai nilai 100% sedangkan IPAL B hanya sebesar 3%. Untuk parameter TKN, TN, dan TP, IPAL A juga memiliki nilai persen removal yang lebih unggul.

4.6. Perbandingan Performa Trickling Filter vs. RBC

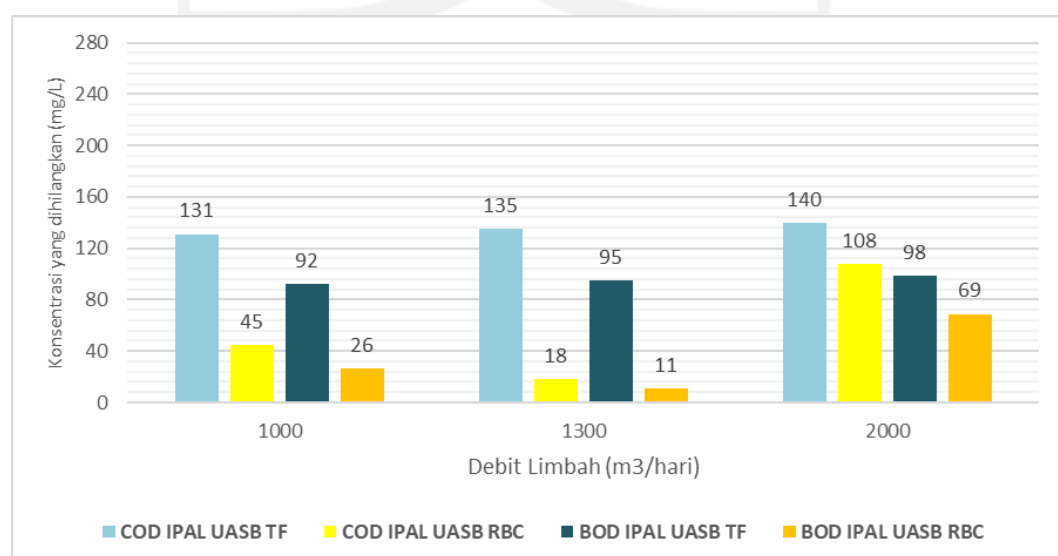
Saat ini terdapat beberapa indikator utama kualitas air limbah yang diperhatikan dalam regulasi yang dibuat oleh pemerintah, seperti *biochemical oxygen demand* (BOD), *chemical oxygen demand* (COD), padatan tersuspensi, ammonia nitrogen, nitrat, nitrit, fosfor, dan unsur nutrient lainnya, serta kandungan logam berat. Konsentrasi yang terlalu tinggi dari polutan ini kecuali oksigen terlarut, tidak dapat diterima oleh badan air karena dampak negatifnya terhadap lingkungan, serta menimbulkan dampak kesehatan terhadap manusia dan hewan. Sehingga pengolahan air limbah yang tepat guna diperlukan untuk menurunkan konsentrasi bahan organik, nutrient, dan logam berat ke tingkat yang dapat diterima sebelum dibuang atau bahkan dapat digunakan kembali. Regulasi yang ditetapkan oleh pemerintah menentukan jumlah dan konsentrasi air limbah yang diizinkan untuk dibuang.

Perbandingan unit sekunder dari masing-masing IPAL dilakukan agar dapat mengetahui performa RBC dan *Trickling filter* sebagai *polishing unit* dari UASB. Dalam bagian ini, nilai effluen hasil simulasi setiap skenario GPS-X dari unit UASB akan dikurangi besar effluen dari *trickling filter*, begitu juga dengan RBC. Setelah diketahui berapa effluen dari masing-masing pos tambahan UASB, maka dapat dilihat berapa banyak jumlah konsentrasi yang berhasil disisihkan oleh

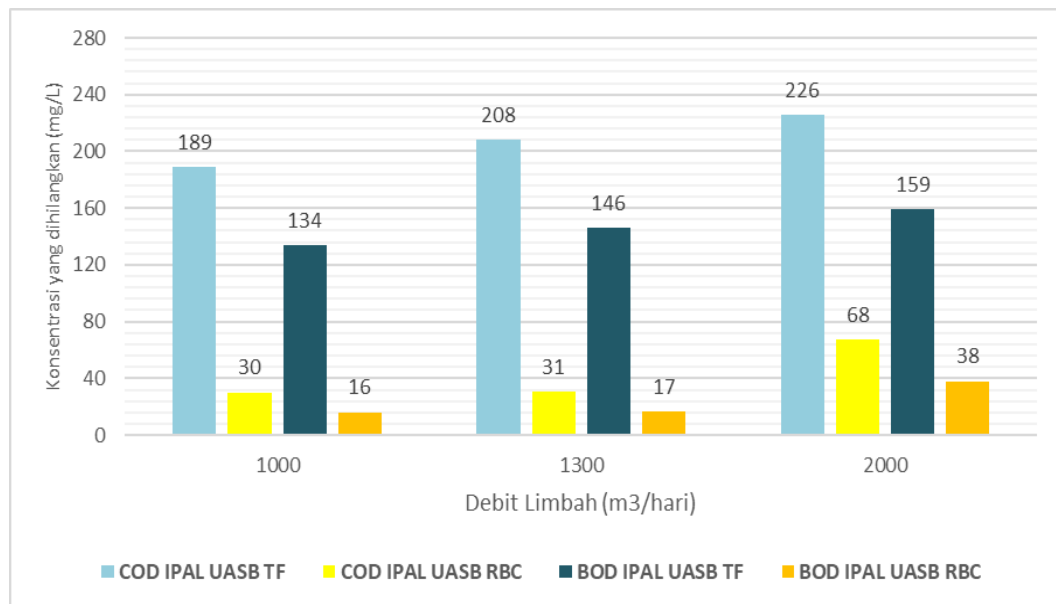
polishing unit dari UASB sehingga dapat diambil kesimpulan mana yang lebih baik diantara TF dan RBC dalam memperbaiki sisa beban polusi dari proses UASB, terutama dalam hal menurunkan beban organik dan nutrien yang masih terdapat dalam lumpur.

4.6.1. Perbandingan Parameter COD

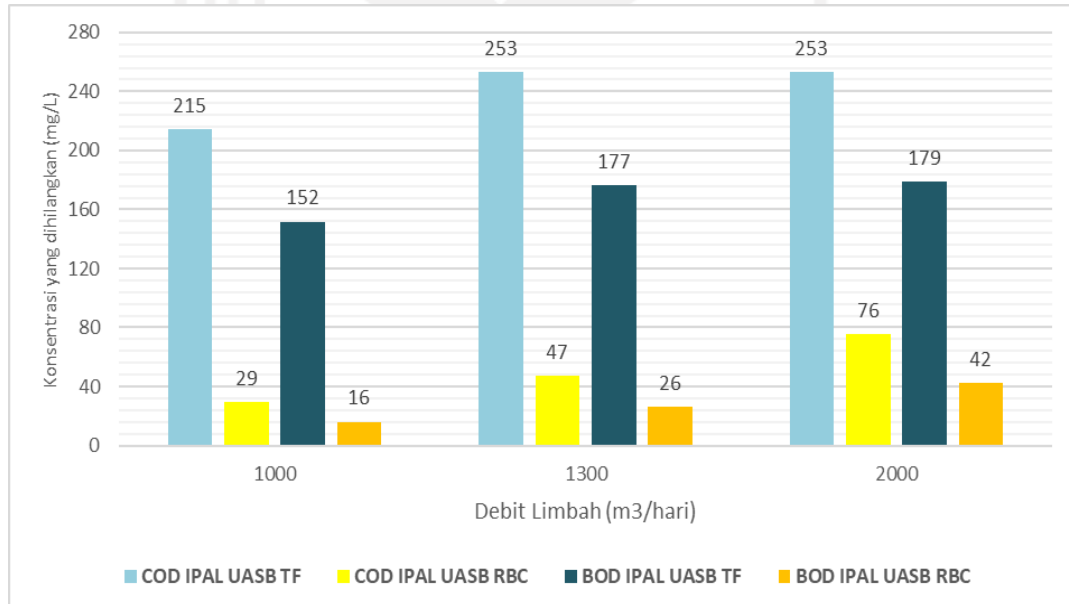
Nilai effluen UASB dan *polishing unit* TF & RBC didapat dari hasil simulasi skenario 1, 2, dan 3 yang dilakukan di GPS-X. Nilai input konsentrasi tidak didapatkan dari sampel melainkan dari data limbah *medium strength* pada buku Metcalf Eddy 2003. Parameter yang dipantau dalam IPAL ini diantaranya TSS, VSS, total BOD₅, total COD, ammonia nitrogen, *total kjedahl nitrogen*, *total nitrogen*, dan *total phosphorus*. Namun dalam sub-bab ini, parameter COD digunakan sebagai parameter yang dijadikan acuan dalam menentukan performa terbaik dari *polishing unit* UASB. Adapun hasil dari effluen unit sekunder *trickling filter* dengan unit sekunder *rotating biological contactor* disajikan dalam bentuk tabel dan terdapat di lampiran. Dibawah ini merupakan grafik jumlah effluen yang tersisihkan untuk semua skenario (debit dasar; 1,3x; 2x dan konsentrasi dasar; 1,5x; 1,7x) untuk TF dan RBC.



Gambar 4.5. Variasi effluen yang disisihkan pada COD 430 mg/L



Gambar 4.6. Variasi efluen yang disisihkan pada COD 645 mg/L



Gambar 4.7. Variasi efluen yang disisihkan pada COD 731 mg/L

Dari ketiga grafik diatas, nilai COD yang disisihkan baik oleh TF dan RBC semakin meningkat seiring dengan bertambahnya nilai konsentrasi dan besar debit.

Itu artinya, unit sekunder UASB berserta pos tambahannya memiliki performa yang menurun seiring meningkatnya tiap skenario. Dimana semakin besar nilai konsentrasi yang tersisihkan, maka semakin kecil kemampuan dari unit tersebut dalam mengolah air limbah. UASB memiliki nilai konsentrasi yang paling kecil pada saat konsentrasi COD 430 mg/L dan debit 1000 m³/hari, baik pada TF ataupun RBC, yaitu sebesar 131 mg/L COD dan 30 mg/L COD (gambar 4.5).

Jika dibandingkan dari hasil TF dan RBC, keduanya memiliki selisih yang cukup jauh dimana TF memiliki besar konsentrasi tersisihkan yang lebih unggul dibandingkan dengan RBC.

Pada RBC dengan skenario debit 2000 m³/hari dan konsentrasi COD 645 mg/L dan 731 mg/L memiliki hasil effluen IPAL yang melebihi baku mutu COD yang sebesar 100 mg/L, dimana besar dari effluen COD IPAL dengan unit UASB+RBC yaitu sebesar 107,3 mg/L COD pada konsentrasi COD 645 mg/L (tabel 4.4) dan sebesar 128,84 mg/L COD pada konsentrasi COD 731 mg/L (tabel 4.5)

Tabel 4.4. Tabel Effluen IPAL UASB+RBC Skenario 3

	rawinf	effuasb	rbceff	effluent	BMAL	Status
Flow (m³/hari)	2000.00	2019.96	2019.96	1989.96	-	-
TSS (mg/L)	315.01	338.62	298.20	56.61	30	Tidak Memenuhi
VSS (mg/L)	240.03	230.07	192.93	36.63	-	-
cBOD₅ (mg/L)	285.00	77.77	39.71	10.90	30	Memenuhi
COD (mg/L)	645.00	442.99	375.48	107.33	100	Tidak Memenuhi
NH₄-N (mg/L)	37.50	42.12	33.31	33.31	10	Tidak Memenuhi
TKN (mg/L)	60.00	64.61	53.40	38.91	-	-
TN (mg/L)	60.00	64.61	53.60	39.11	-	-
TP (mg/L)	15.00	14.79	14.79	11.49	-	-

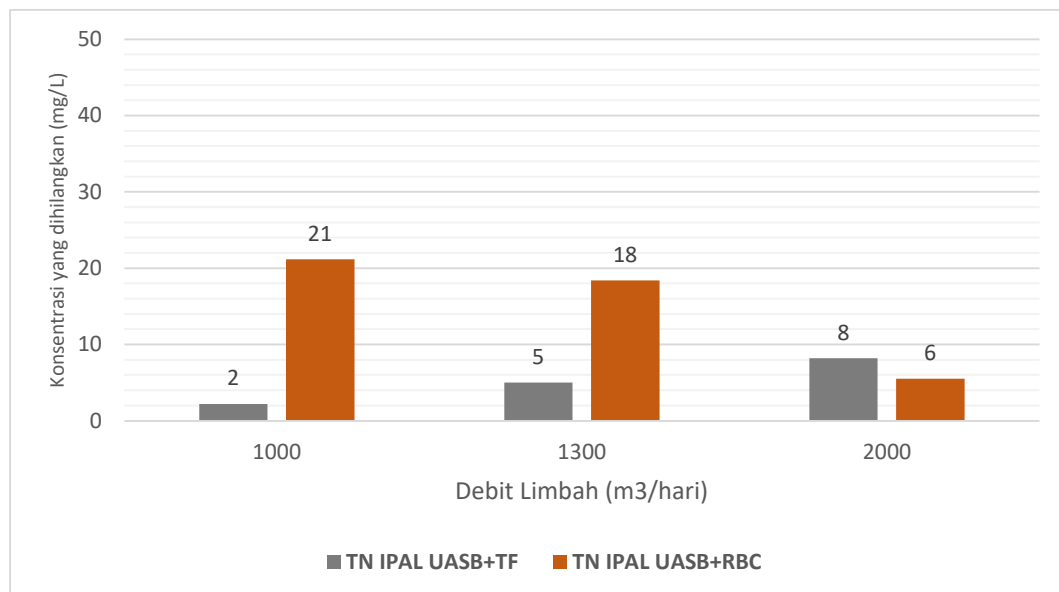
Tabel 4.5. Tabel Effluen IPAL UASB+RBC Skenario 3

	rawinf	effuasb	rbceff	effluent	BMAL	Status
--	--------	---------	--------	----------	------	--------

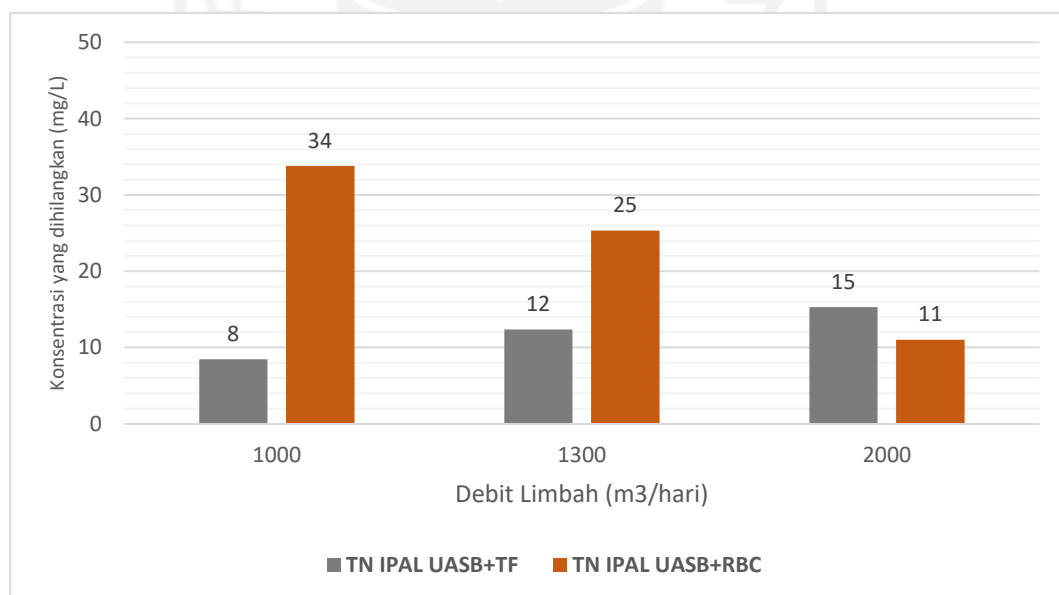
Flow (m³/hari)	2000.00	2019.96	2019.96	1989.96	-	-
TSS (mg/L)	357.01	360.16	312.92	71.47	30	Tidak Memenuhi
VSS (mg/L)	272.04	243.44	200.41	45.77	-	-
cBOD₅ (mg/L)	323.00	83.48	41.24	12.95	30	Memenuhi
COD (mg/L)	731.00	470.30	394.58	128.84	100	Tidak Memenuhi
NH₄-N (mg/L)	42.50	48.85	41.22	41.22	10	Tidak Memenuhi
TKN (mg/L)	68.00	72.52	62.26	47.96	-	-
TN (mg/L)	68.00	72.52	62.40	48.09	-	-
TP (mg/L)	17.00	16.31	16.31	13.03	-	-

4.6.2. Perbandingan Parameter TN

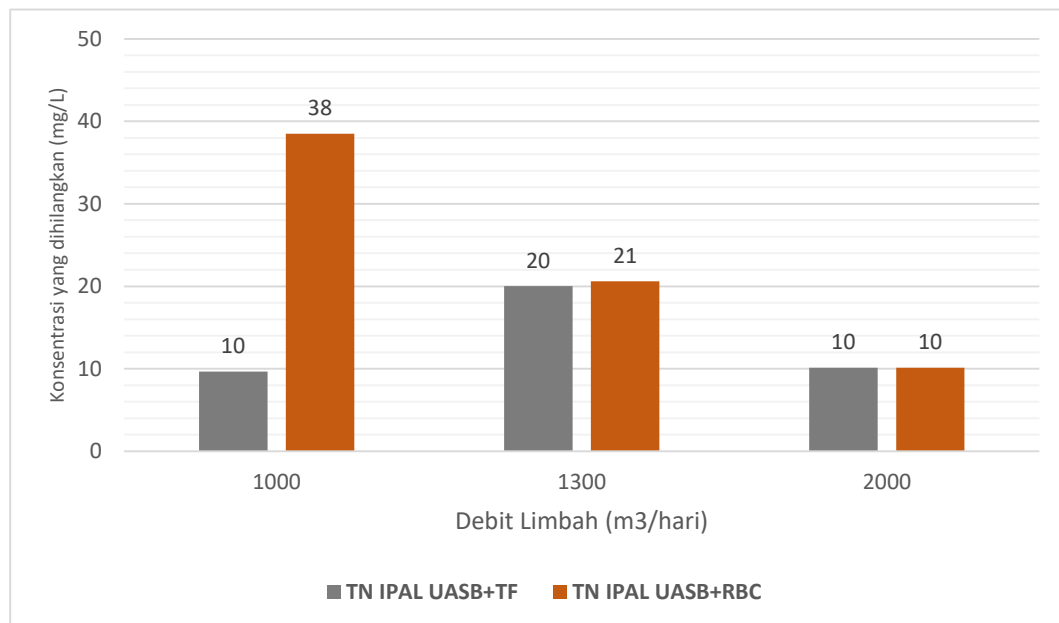
Dalam hal penyisihan kandungan ammonia-nitrogen, skenario yang sama masih berlaku baik untuk UASB+TF maupun UASB+RBC. Dalam sub-bab ini, parameter total nitrogen digunakan sebagai parameter yang dijadikan acuan dalam menentukan performa terbaik dari *polishing unit* UASB. Adapun hasil dari effluen unit sekunder *trickling filter* dengan unit sekunder *rotating biological contactor* disajikan dalam bentuk tabel yang terdapat di lampiran. Dibawah ini merupakan grafik jumlah effluen yang tersisihkan untuk semua skenario (debit dasar; 1,3x; 2x dan konsentrasi dasar; 1,5x; 1,7x) untuk TF dan RBC. Adapun besar konsentrasi ammonia nitrogen sebagai pembanding pada sub-bab ini adalah berturut-turut sebesar 25; 37,5; dan 42,5 mg/L. Nilai effluen NH₄-N di setiap unit IPAL A dan IPAL B terdapat di lampiran. Di bawah ini merupakan hasil effluen unit sekunder dengan *polishing unit* yang terangkum dalam grafik total nitrogen.



Gambar 4.8. Variasi efluen yang disisihkan pada NH₄-N 25 mg/L



Gambar 4.9. Variasi efluen yang disisihkan pada NH₄-N 37,5 mg/L



Gambar 4.10. Variasi efluen yang disisihkan pada $\text{NH}_4\text{-N}$ 42,5 mg/L

Dari ketiga grafik diatas, nilai TN yang disisihkan oleh unit sekunder UASB dengan TF semakin meningkat seiring dengan bertambahnya nilai konsentrasi dan besar debit. Itu artinya, unit UASB berserta *trickling filter* sebagai pos tambahan unit sekunder memiliki performa yang menurun seiring meningkatnya debit dan konsentrasi pada masing-masing skenario. Namun pada pos tambahan RBC, besar TN menurun pada saat setiap konsentrasi di ketiga grafik diatas. Dimana pada saat konsentrasi $\text{NH}_4\text{-N}$ 25 mg/L, besar konsentrasi yang tersisihkan dari unit UASB ke unit RBC menurun dengan debit berturut-turut 1000; 1300; dan 2000 m^3/hari menjadi berturut-turut sebesar 21; 18; 6 mg/L. Hal yang sama juga terjadi dengan skenario $\text{NH}_4\text{-N}$ sebesar 37,5 mg/L, besar konsentrasi yang tersisihkan dari unit UASB ke unit RBC menurun dengan debit berturut-turut 1000; 1300; dan 2000 m^3/hari menjadi berturut-turut sebesar 34; 25; 11 mg/L. Juga pada saat konsentrasi $\text{NH}_4\text{-N}$ 42,5 mg/L, besar konsentrasi yang tersisihkan dari unit UASB ke unit RBC menurun dengan debit berturut-turut 1000; 1300; dan 2000 m^3/hari menjadi berturut-turut sebesar 38; 21; 10 mg/L.

Dimana semakin besar nilai konsentrasi yang tersisihkan, maka semakin kecil kemampuan dari unit tersebut dalam mengolah air limbah. UASB memiliki

nilai konsentrasi yang paling kecil pada saat konsentrasi COD 430 mg/L dan debit 1000 m³/hari, baik pada TF ataupun RBC, yaitu sebesar 131 mg/L COD dan 30 mg/L COD (gambar 4.5).

Untuk RBC dengan seluruh input pada skenario 3, nilai ammonia nitrogen melebihi baku mutu untuk hasil akhir IPAL. Sehingga diperlukan optimasi untuk menanggulangi keadaan tersebut.

Secara keseluruhan, dalam hal menyisihkan kandungan nitrogen organik maupun anorganik, kedua unit memiliki kecenderungan yang hampir sama pada skenario NH₄-N sebesar 42,5 mg/L, sedangkan pada skenario ammonia nitrogen lainnya, RBC memiliki besar konsentrasi yang tersisihkan lebih unggul dibandingkan TF.

4.7. Optimasi *Rotating Biological Contactor*

Tujuan dibuatnya IPAL adalah untuk menghilangkan dan memulihkan kontaminan dari *effluent* serta dapat menghasilkan energi. Adapun peran dari model matematika dari setiap pengolahan dalam simulasi ini adalah untuk memprediksi bagaimana performa dari IPAL tersebut. Untuk mematuhi regulasi baku mutu air limbah yang sudah ditetapkan oleh pemerintah, maka perlu dilakukan optimasi.

Optimasi IPAL dilakukan untuk mengetahui perbaikan atau *improvement* apa yang dapat dilakukan sehingga IPAL tersebut dapat berkerja secara optimal sehingga tidak mencemari lingkungan. Pelaksanaan optimasi IPAL yang memiliki berbagai macam struktur juga kemampuan optimasi teknologi saat ini dapat dipermudah dengan model sederhana GPS-X.

Setelah dilakukan simulasi dengan skenario 1, 2, dan 3, nilai effluent pada IPAL dengan unit UASB sebagai unit sekunder dan RBC sebagai *polishing unit* beberapa tidak memenuhi standar baku mutu air limbah. Maka dari itu dilakukan suatu optimasi. Pada optimasi ini, limbah dengan konsentrasi *medium strength* berdasarkan Metcalf dan Eddy 2003 digunakan untuk menjalankan model. Adapun skenario yang dijadikan acuan adalah skenario 3 dengan besar konsentrasi 1,7x dari konsentrasi dasar dimana COD, ammonia nitrogen, TKN, dan TP sebesar 731

mg/L; 42,5 mg/L; 68 mg/L; dan 17 mg/L, dengan debit sebesar 2x debit dasar (2000 m³/hari). Dibawah ini merupakan hasil persen removal unit IPAL B, nilai konsentrasi yang disisihkan dari UASB oleh unit RBC, serta nilai effluen IPAL B pada saat sebelum dilakukan optimasi pada skenario 3.

Tabel 4.6. Hasil Effluen IPAL UASB+RBC Sebelum Optimasi

Sebelum Optimasi (Debit 2x Konsentrasi 1,7x)	Parameter Operasional				
	Submerged fraction of biofilm = 90%, Jumlah Tangki = 1				
	%Removal	Konsentrasi yang disisihkan	Effluent IPAL	BMAL	Status
TSS	80	47	71.47	30	Tidak Memenuhi
VSS	83	43	45.77	-	-
cBOD5	96	42	12.95	30	Memenuhi
COD	82	76	128.84	100	Tidak Memenuhi
Ammonia Nitrogen	3	8	41.22	10	Tidak Memenuhi
TKN	29	10	47.96	-	-
TN	29	10	48.09	-	-
TP	23	0	13.03	-	-

Sebelum dilakukan optimasi, setiap skenario UASB+RBC yang dijalankan pada penelitian ini memiliki besar input yang disamakan dengan nilai *default* dari GPS-X, hanya ada beberapa parameter fisik yang dikalibrasi dengan debit dasar skenario untuk menyesuaikan, parameter tersebut diantaranya adalah RBC *liquid volume*, RBC *media volume*, *maximum biofilm thickness*, dan *submerged fraction of biofilm*.

Ringkasan hasil model simulasi GPS-X yang terdapat pada tabel 4.6. menunjukkan performa IPAL UASB+RBC pada skenario 3. Efisiensi penghilangan padatan tersuspensi/TSS, VSS, total BOD₅, dan total COD berturut-turut sebesar 80%; 83%; 96%; dan 82%. Sedangkan efisiensi penghilangan beban anorganik seperti ammonia nitrogen, TKN, TN, dan TP berturut-turut sebesar 3%; 29%; 29%;

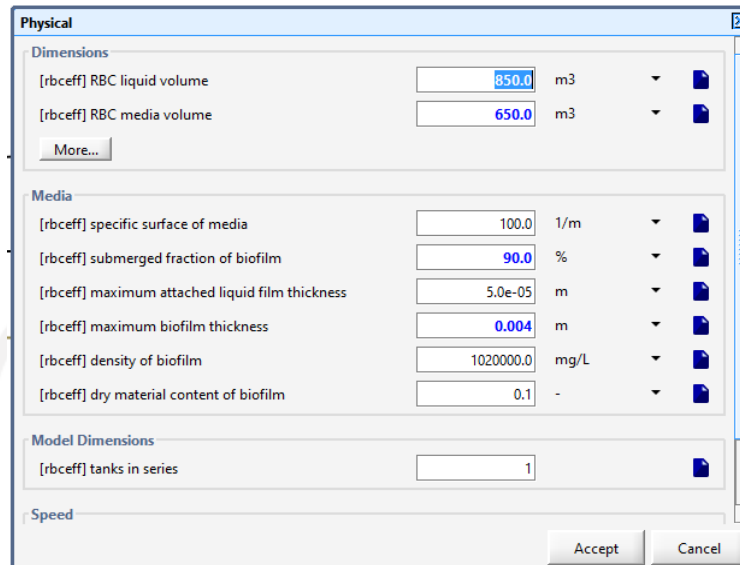
dan 23%. Meskipun besar efisiensi penyisihan pada parameter COD terbilang tinggi, yakni sebesar 82% (tabel 4.7) namun, hasil akhir IPAL B masih belum memenuhi baku mutu, yaitu sebesar 128,8 mg/L.

Dalam hal penyisihan kandungan ammonia nitrogen, efisiensi IPAL UASB+RBC memiliki prosentase removal yang sangat kecil, dimana hanya sebesar 3% dari input awal. Sehingga nilai ammonia nitrogen pun masih tergolong tinggi dan belum memenuhi baku mutu, yaitu sebesar 41,2 mg/L $\text{NH}_4\text{-N}$ (tabel 4.7).

Tabel 4.7. Hasil Effluen IPAL UASB+RBC Setelah Optimasi

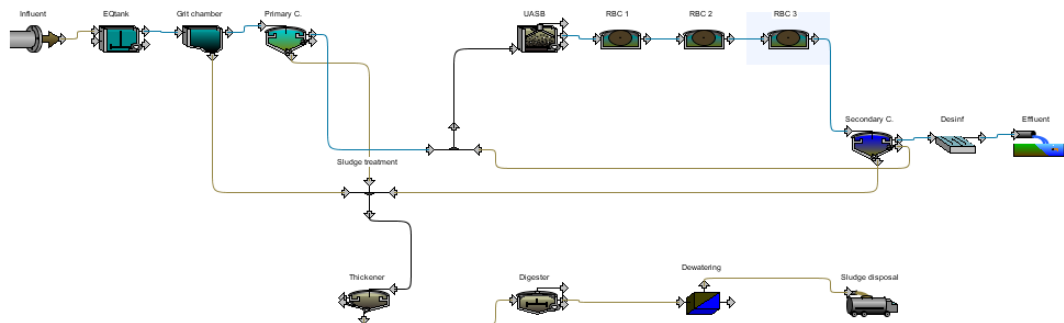
Setelah Optimasi (Debit 2x Konsentrasi 1,7x)	Parameter Operasional				
	Submerged fraction of biofilm = 50%, Jumlah Tangki = 3				
	%Removal	Konsentrasi yang disisihkan	Effluent IPAL	BMAL	Status
TSS	93	451	23.27	30	Memenuhi
VSS	97	177	8.94	-	-
cBOD5	98	122	6.07	30	Memenuhi
COD	94	282	45.16	100	Memenuhi
Ammonia Nitrogen	99	77	0.24	10	Memenuhi
TKN	94	106	3.95	-	-
TN	84	99	11.08	-	-
TP	53	123	8.05	-	-

Pada model skenario optimasi, parameter yang dijadikan acuan adalah parameter operasional dari unit RBC. Hasil skenario parameter operasional yang telah mempengaruhi besar effluen dilakukan dengan memanfaatkan model GPS-X yang sebelumnya sudah divalidasi dan disajikan dalam tabel 4.7. dengan tujuan memenuhi baku mutu air limbah yang sebelumnya tidak terpenuhi pada skenario dasar. Beberapa parameter operasional yang diamati memiliki pengaruh besar selama proses kalibrasi diantaranya adalah *specific surface of media*, *RBC liquid & media volume* (dimensi), *submerged fraction of biofilm*, *maximum attached liquid film thickness*, dan lain sebagainya (gambar 4.11)



Physical		
Dimensions		
[rbceff] RBC liquid volume	850.0	m3
[rbceff] RBC media volume	650.0	m3
Media		
[rbceff] specific surface of media	100.0	1/m
[rbceff] submerged fraction of biofilm	90.0	%
[rbceff] maximum attached liquid film thickness	5.0e-05	m
[rbceff] maximum biofilm thickness	0.004	m
[rbceff] density of biofilm	1020000.0	mg/L
[rbceff] dry material content of biofilm	0.1	-
Model Dimensions		
[rbceff] tanks in series	1	
Speed		
		Accept Cancel

Gambar 4.11. Input Parameter Fisika Unit RBC

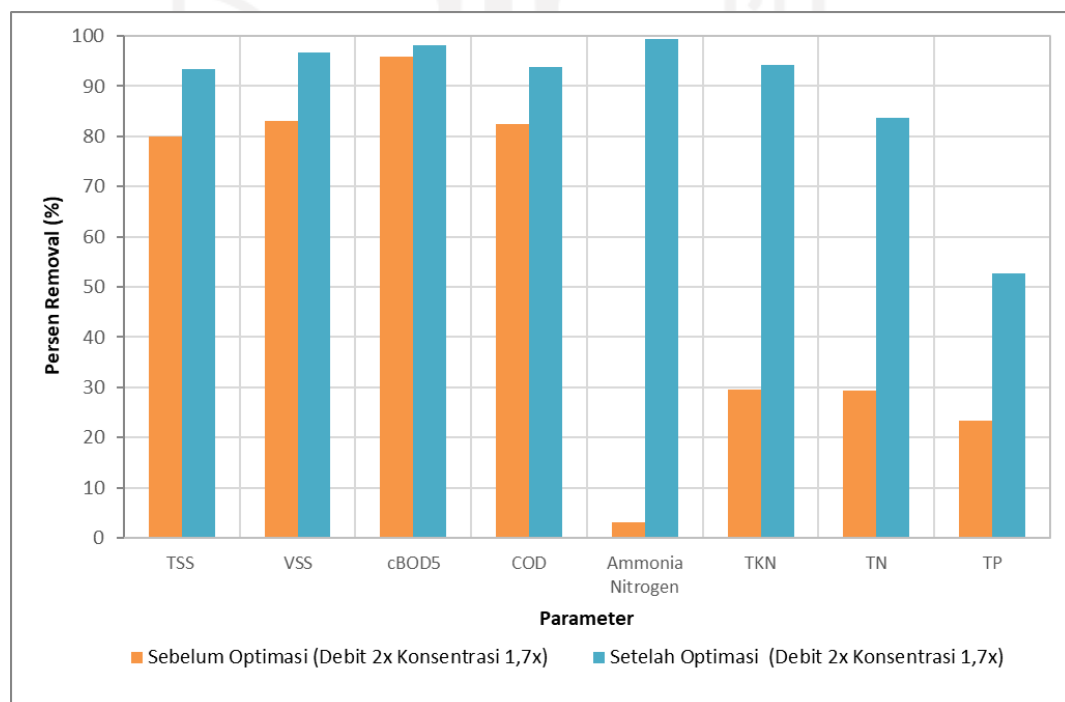


Gambar 4.12. Layout IPAL Optimasi Unit RBC

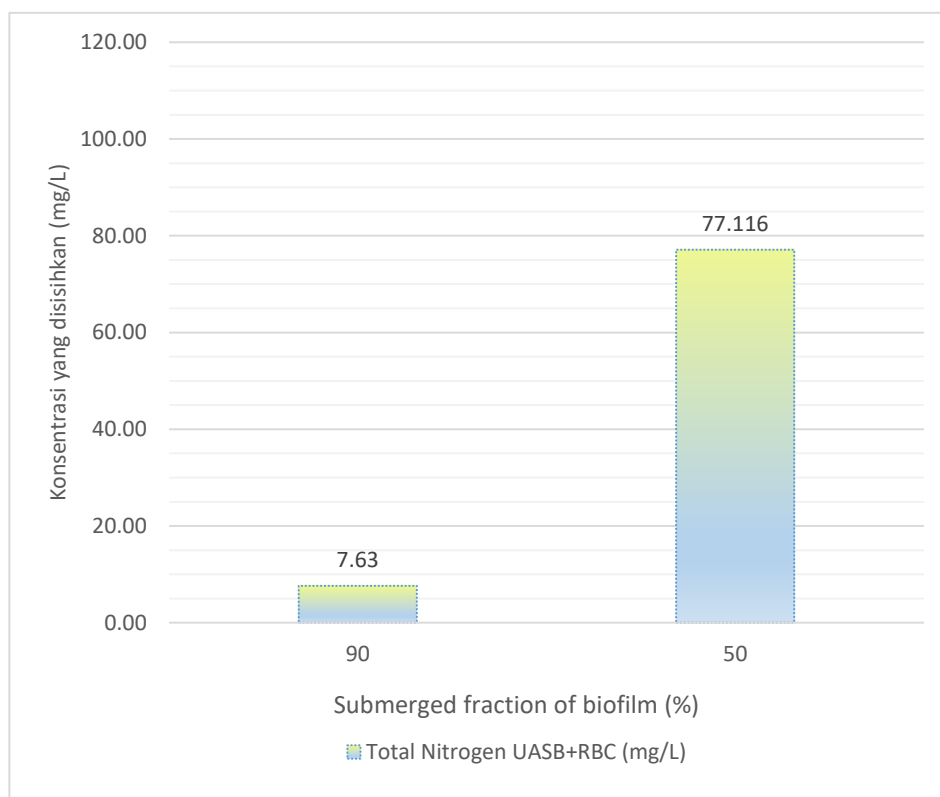
Setelah dilakukan pengamatan parameter yang memiliki pengaruh besar selama proses kalibrasi simulasi performa IPAL UASB+RBC, parameter operasional yang dianalisis dalam penelitian ini adalah jumlah tangki dalam *layout* IPAL dan *submerged fraction of biofilm* atau lapisan biofilm yang terendam. Analisis pengaruh jumlah tangki dan *submerged fraction of biofilm* pada skenario optimasi RBC dilakukan dalam kondisi *steady state* dengan jumlah tangki RBC ditambah 2 buah sehingga menjadi 3 dan besar *submerged fraction of biofilm*

diturunkan menjadi 50% yang awalnya sebesar 90%. Layout IPAL seperti terlihat pada gambar 4.12.

Hasil simulasi pengaruh perubahan parameter operasional terdapat di tabel 4.7. Dimana dalam tabel tersebut, parameter COD dan ammonia nitrogen yang sebelumnya tidak memenuhi baku mutu sudah memenuhi baku mutu. Nilai efisiensi penyisihan kandungan anorganik juga mengalami perubahan yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan skenario sebelum optimasi, nilai %removal ammonia nitrogen, TKN, TN, dan TP pada skenario 3 berturut-turut adalah sebesar 3%; 29%; 29%; dan 23% menjadi sebesar 99%; 94%; 84% dan 53% pada skenario optimasi. Itu artinya, pengaruh perubahan parameter operasional jumlah tangki dan lapisan biofilm yang terendam pada unit RBC sebagai *polishing unit* dari RBC memiliki pengaruh yang baik. Adapun perbandingan skenario keduanya (sebelum dan sesudah) dalam hal efisiensi penyisihan kandungan organik dan anorganik air limbah dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.13. Grafik Efisiensi Removal IPAL UASB+RBC sebelum dan sesudah optimasi



Gambar 4.14. Total nitrogen yang disihkan pada IPAL UASB+RBC sebelum dan sesudah optimasi

Dari kedua grafik diatas, dapat terlihat efisiensi penyisihan kandungan limbah pada setiap parameter cenderung meningkat secara keseluruhan pada parameter TSS, VSS, total BOD₅, total COD, ammonia nitrogen, TKN, TN, dan TP. Terlebih dalam hal penyisihan kandungan anorganik seperti total nitrogen (gambar 4.14). Dimana penggunaan jumlah tangki RBC sebanyak 3 tangki seri dengan besar lapisan biofilm yang terendam 50% memiliki performa yang baik sehingga menjadi solusi dari permasalahan pada IPAL UASB+RBC pada skenario 3.

BAB V

KESIMPULAN & SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Secara umum penyusunan model skenario IPAL dengan simulasi pada GPS-X dapat dilakukan dengan 3 tahapan sederhana, yang diantaranya:
 - 1) Melakukan pembuatan objek model melalui konstruksi tata letak berdasarkan *plant wide* IPAL yang sudah ada/akan direncanakan;
 - 2) Menjalankan model dan kalibrasi melalui penyesuaian faktor kinetik, stoikiometri, dan parameter lainnya yang relevan dengan model untuk mendapat nilai yang pas antara output pemodelan dengan kondisi aktual;
 - 3) Menjalankan simulasi di bawah skenario yang berbeda untuk menganalisis pengaruh operasional yang relevan dengan parameter kapasitas dan kinerja kedua model IPAL dalam hal evaluasi kualitas limbah akhir.
2. Berdasarkan hasil simulasi model IPAL UASB-TF vs. IPAL UASB-RBC melalui GPS-X 8.0.1 pada ketiga skenario, IPAL UASB-TF memiliki performa yang lebih unggul dibandingkan dengan IPAL UASB-RBC baik dalam penyisihan kandungan organik maupun kandungan anorganik.
3. Berdasarkan hasil simulasi kedua model IPAL dengan ketiga skenario. *Trickling Filter* memiliki besar konsentrasi tersisihkan yang lebih unggul dalam hal penyisihan kandungan COD dibandingkan dengan RBC. Sedangkan dalam hal penyisihan kandungan nitrogen, tidak terdapat perbedaan yang signifikan dalam penggunaan TF ataupun RBC, karena kedua unit memiliki kecenderungan yang hampir sama..
4. Untuk dapat memenuhi baku mutu serta meningkatkan performa RBC, dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya adalah menurunkan besar persen piringan RBC yang tenggelam (*submerged fraction of biofilm*) serta menambahkan jumlah tangki pada layout model GPS-X.

5.2. Saran

1. Perlu adanya perencanaan lebih lanjut mengenai DED tiap unit IPAL sehingga data yang diolah menggunakan simulasi GPS-X dapat sangat mendekati nilai yang sesungguhnya.
2. Perlu adanya perencanaan lebih lanjut tentang pemanfaatan biogas dan lumpur yang terbentuk dalam proses IPAL UASB+TF dan IPAL UASB+RBC.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Kelessidis and A. S. Stasinakis. 2012. **Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries.** *Waste Management*. Vol 32. No. 6. Hal 1186–1195
- Akbarpour Toloti, A. & Mehrdadi, N. 2010. **Wastewater treatment from antibiotics plant.** *Int. J. Environ. Res.* Vol 5. No.1. Hal 241–246.
- Batstone, D. J., Keller, J., Angelidaki, I., Kalyuzhnyi, S. V., Pavlostathis, S. G., Rozzi, A. & Vavilin, V. A. 2002a. **Anaerobic Digestion Model No.1 (ADM1).** IWA Publishing, London.
- Chen, Z., Wang, H., Chen, Z., Ren, N., Wang, A., Shi, Y. & Li, X. 2011. **Performance and model of a full-scale up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) to treat the pharmaceutical wastewater containing 6-APA and amoxicillin.** *J. Hazard. Mater.* Vol 185. No 2–3. Hal 905–913
- Chernicharo CAL, Machado RMG. 1998. **Feasibility of the UASB/AF system for domestic sewage treatment in developing countries.** *Water Sci Technol.* Vol 38. No 8-9. Hal 325-32
- Chernicharo, C. A. L. 2006. **Post-treatment options for the anaerobic treatment of domestic wastewater.** *Reviews in Environmental Science and Biotechnology.* Vol 5. Hal 73–92
- Chong, S., Sen, T. K., Kayaalp, A. & Ang, H. M. 2012. **The performance enhancements of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors for domestic sludge treatment A state-of-the-art review.** *Water Res.* Vol 46. No 11. Hal 3434–3470.
- Christensen, D. R., Gerick, J. A. & Eblen, J. E. 1984. **Design and operation of an upflow anaerobic sludge blanket reactor.** *J. Water Pollut. Contr. Fed.* Vol 56. No 9. Hal. 1059-1062.
- Coen, F., Vanderhaegen, B., Boonen, I., Vanrolleghem, P. A. & Van Meenen, P. 1997. **Improved design and control of industrial and municipal nutrient removal plants**

- using dynamic models.** *Water Sci. Technol.* **Vol 35.** No 10. Hal 53–61.
- Cronin, C. & Lo, K. V. 1998. **Anaerobic treatment of brewery wastewater using UASB reactors seeded with activated sludge.** *Bioresour. Technol.* **Vol 64.** No 1. Hal 33–38.
- Dairi, S., Mrad, D., Bensoltane, M., Djebbar, Y. Abida, H. 2010. **Optimal Operation of Alternating Activated Sludge Processes of the Municipal Wastewater Treatment Plant Case of Souk-Ahras (Algeria).** *Fourteenth International Water Technology Conference, IWTC, Cairo, Egypt.* March. Hal 21-23.
- De la Sota, A., Larrea, L., Novak, L., Grau, P. & Henze, M. 1994. **Performance and model calibration of R-D-N processes in pilot plant.** *Water Sci. Technol.* **Vol 30.** No 6. Hal 355–364.
- El Gohary FA, Abou-Elela SI, El Hawary S, El- Kamah HM, Ibrahim H. 1998. **Evaluation of wastewater treatment technologies for rural Egypt.** *Int J Environ Stud.* **Vol 53.** Hal 35–55
- Giorgio Mannina and Gaspare Viviani. 2009. **Hybrid moving bed biofilm reactors: an effective solution for upgrading a large wastewater treatment plant.** *Water Sci. Technol.* **Vol 60.** No 1. Hal 5.
- Gohil, A. & Nakhla, G. 2006. **Treatment of tomato processing wastewater by an upflow anaerobic sludge blanket–anoxic–aerobic system.** *Bioresour. Technol.* **Vol 97.9** No. 16. Hal 2141–2152.
- Hydromantis GPS-X Technical Reference. 2017
- Ince, O., Kolukirik, M., Oz, N. A. & Ince, B. K. 2005. **Comparative evaluation of full scale UASB reactors treating alcohol distillery wastewaters in terms of performance and methanogenic activity.** *J. Chem. Technol. Biotechnol.* **Vol 80.** No. 2. Hal 138–144.
- Ivar Soares Urdalen. 2015. **Modeling Biological Nutrient Removal in a Greywater Treatment System.** Norwegian University of Science and Technology
- J. Ariunbaatar, A. Panico, G. Esposito, F. Pirozzi, and P. N. L. Lens. 2014. **Pretreatment methods to enhance anaerobic digestion of organic solid waste.** *Applied Energy.* **Vol. 123.** Hal 143–156

- J. Mata-Alvarez, J. Dosta, M. S. Romero-Güiza, X. Fonoll, M. Peces, and S. Astals. 2014. **A critical review on anaerobic codigestion achievements between 2010 and 2013.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 36. Hal. 412–427
- Jeppsson, Ulf. 1996. **Electrical Engineering "Modeling Aspects of Wastewater Treatment Processes"**
- Kassab, G., Halalsheh, M., Klapwijk, A., Fayyad, M. & van Lier, J. B. 2010. **Sequential anaerobic–aerobic treatment for domestic wastewater: a review.** *Reviews in Bioresource Technology*. Vol 101. Hal 3299–3310
- Kerroum, D., Mossaab, B.-L. & Hassen, M. A. 2010. **Use of ADM1 model to simulate the anaerobic digestion process used for sludge waste treatment in thermophilic conditions.** *Turkish J. Eng. Env. Sci.* Vol 34. Hal 121–129.
- Khan, A. A., Gaur, R. Z., Tyagi, V. K., Khursheed, A., Lew, B., Mehrotra, I. & Kazmi, A.A. 2011. **Sustainable options of post treatment of UASB effluent treating sewage: a review.** *Resour. Conserv. Recycl.* Vol 55. No 12. Hal 1232–1251.
- Khairina, Nadfizah. 2015. **Perencanaan Teknologi Sanitasi sebagai Upaya Bebas Buang Air Besar Sembarangan di Kecamatan Genteng.** Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS. Surabaya.
- Kumar M, Gogoi A, Mukherjee S. 2019. **Metal removal, partitioning and phase distributions in the wastewater and sludge: Performance evaluation of conventional, upflow anaerobic sludge blanket and downflow hanging sponge treatment systems.** *Journal of Cleaner Production*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119426>.
- Kubota, K., Hayashi, M., Matsunaga, K., Iguchi, A., Ohashi, A., Li, Y.Y., Yamaguchi, T. and Harada, H., 2014. **Microbial community composition of a down-flow hanging sponge (DHS) reactor combined with an up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor for the treatment of municipal sewage.** *Bioresource technology*. No 151. Hal 144-150.
- L. Appels, J. Lauwers, J. Degreve et al. 2011. **Anaerobic digestion in `global bio-energy production: potential and research challenges.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol 15. No 9. Hal 4295–4301

- Lettinga, G., van Velsen, A. F. M., Hobma, S. W., de Zeeuw, W. & Klapwijk, A. 1980. **Use of the upflow sludge blanket (UASB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment.** *Biotechnol. Bioeng.* Vol 22. No 4. Hal. 699–734.
- Mahmoud, N., Zeeman, G., Gijzen, H. & Lettinga, G. 2004. **Anaerobic sewage treatment in a one-stage UASB reactor and a combined UASB-Digester system.** *Water Res.* Vol 38. No 9. Hal 2348–2358.
- Mba, D.; Bannister, R. 2007. **Ensuring effluent standards by improving the design of Rotating Biological Contactors, Desalination.** Vol 208. No 1. Hal 204–215. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.04.079>
- Metcalf, E. 2003. **Inc., Wastewater Engineering, Treatment and Reuse.** New York: McGraw-Hill.
- Miranda, L. A. S., Henriques, J. A. P. & Monteggia, L. O. 2005. **A full-scale UASB reactor for treatment of pig and cattle slaughterhouse wastewater with a high oil and grease content.** *Braz. J. Chem. Eng.* Volu 22. No 4. Hal 601–610.
- Rajakumar, R., Meenambal, T., Rajesh Banu, J. & Yeom, I. T. 2011. **Treatment of poultry slaughterhouse wastewater in upflow anaerobic filter under low upflow velocity.** *Int.J. Environ. Sci. Tech.* Vol 8. No 1. Hal 149–158.
- Roda, I.R., Comas, J. Colprim, J., Baeza, J., Sánchez-Marrè, M. Cortés, U. 1999. **A Multi paradigm Decision Support System to improve Wastewater Treatment Plant Operation.** AAAI Technical Report WS
- Sawayama, S., Yagishita, T. & Tsukahara, K. 1999. **Lighted upflow anaerobic sludge blanket.** *J. Biosci. Bioeng.* Vol 87. No 2. Hal 258–260.
- Sirianuntapiboon, S.; Chumlaong, S. 2013. **Effect of Ni²⁺ and Pb²⁺ on the efficiency of packed cage rotating biological contactor system.** *Journal of Environmental Chemical Engineering.* Vol 1. No 3. Hal 233–240. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.04.019>
- Sofia Filipe Pereira. 2014. **Modelling of a wastewater treatment**

plant using GPS-X.. *Journal of Dissertation to obtain the degree of Master in Chemical and Biochemical Engineering.* Faculdade de Ciências e Tecnologia and Universidade Nova de Lisboa.

- Stokes, L., Takacs, I., Watson, B. & Watts, J. B. 1993. **Dynamic modelling of an A.S.P. ewage works—a case study.** *Water Sci.Technol.* **Vol 28.** No 11–12. Hal 151–161.
- T. Benabdallah El Hadj, S. Astals, A. Galí, S. Mace, and J. Mata-Alvarez. 2009. **Ammonia influence in anaerobic digestion of OFMSW.** *Water Science and Technology.* **Vol.59.** No. 6. Hal 1153–1158
- Thamsiroj, T. & Murphy, J. D. 2011. **Modelling mono-digestion of grass silage in a 2 stage CSTR anaerobic digester using ADM1.** *Bioresour. Technol.* **Vol 102.** No. 2. Hal 948–959.
- 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.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). 2000. **Wastewater technology fact sheet, Trickling filters.** United States Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C., EPA 832-F-00-014

LAMPIRAN

Hasil Simulasi UASB+TF

SKENARIO DASAR (Debit Tetap Konsentrasi Tetap)											
		rawinf	EQeff	gritof	peff	eff	efftf	clareff	effluent	BMAL	Status
Flow	m3/d	1000.00	1000.00	999.98	989.98	989.98	989.98	969.98	969.98	-	-
TSS	mg/L	210.00	210.00	190.00	31.57	41.00	22.36	3.96	3.96	30	Memenuhi
VSS	mg/L	160.02	160.02	160.02	26.59	33.78	14.46	2.56	2.56	-	-
cBOD5	mgO2/L	190.00	190.00	190.00	109.96	93.15	0.93	0.71	0.71	30	Memenuhi
COD	mgCOD/L	430.00	430.00	430.00	202.30	181.05	50.02	30.85	30.85	100	Memenuhi
Ammonia Nitrogen	mgN/L	25.00	25.00	25.00	25.00	25.63	0.04	0.04	0.04	10	Memenuhi
TKN	mgN/L	40.00	40.00	40.00	29.81	29.81	2.01	0.86	0.86	-	-
TN	mgN/L	40.00	40.00	40.00	29.81	29.81	27.59	26.43	26.43	-	-
TP	mgP/L	10.00	10.00	10.00	8.35	8.35	8.35	7.54	7.54	-	-
SKENARIO 1 (Debit 1.3x, Konsentrasi Tetap)											
		rawinf	EQeff	gritof	peff	eff	efftf	clareff	effluent	BMAL	Status
Flow	m3/d	1300.00	1300.00	1299.97	1289.97	1289.97	1289.97	1269.97	1269.97	-	-
TSS	mg/L	210.00	210.00	190.00	37.12	45.87	27.89	5.17	5.17	30	Memenuhi
VSS	mg/L	160.02	160.02	160.02	31.26	37.82	17.18	3.18	3.18	-	-

cBOD5	mgO2/L	190.00	190.00	190.00	112.76	96.41	1.57	0.83	0.83	30	Memenuhi
COD	mgCOD/L	430.00	430.00	430.00	210.26	189.46	54.56	31.88	31.88	100	Memenuhi
Ammonia Nitrogen	mgN/L	25.00	25.00	25.00	25.00	25.46	0.05	0.05	0.05	10	Memenuhi
TKN	mgN/L	40.00	40.00	40.00	30.17	30.17	2.27	0.92	0.92	-	-
TN	mgN/L	40.00	40.00	40.00	30.17	30.17	25.17	23.82	23.82	-	-
TP	mgP/L	10.00	10.00	10.00	8.41	8.41	8.41	7.09	7.09	-	-

SKENARIO 1 (Debit 2x, Konsentrasi Tetap)

		rawinf	EQeff	gritof	peff	eff	efftf	clareff	effluent	BMAL	Status
Flow	m3/d	2000.00	2000.00	1999.96	1989.96	1989.96	1989.96	1969.96	1969.96	-	-
TSS	mg/L	210.00	210.00	190.00	49.88	58.65	44.57	8.11	8.11	30	Memenuhi
VSS	mg/L	160.02	160.02	160.02	42.01	48.67	26.24	4.77	4.77	-	-
cBOD5	mgO2/L	190.00	190.00	190.00	119.21	103.69	5.30	1.49	1.49	30	Memenuhi
COD	mgCOD/L	430.00	430.00	430.00	228.61	209.01	69.26	34.43	34.43	100	Memenuhi
Ammonia Nitrogen	mgN/L	25.00	25.00	25.00	25.00	25.12	0.05	0.05	0.05	10	Memenuhi
TKN	mgN/L	40.00	40.00	40.00	30.99	30.99	3.15	1.08	1.08	-	-
TN	mgN/L	40.00	40.00	40.00	30.99	30.99	22.80	20.73	20.73	-	-
TP	mgP/L	10.00	10.00	10.00	8.54	8.54	8.54	5.76	5.76	-	-

SKENARIO 2 (Debit Tetap, Konsentrasi 1.5x)

		rawinf	EQeff	gritof	peff	eff	efftf	clareff	effluent	BMAL	Status
Flow	m3/d	1000.00	1000.00	999.98	989.98	989.98	989.98	969.98	969.98	-	-
TSS	mg/L	315.01	315.01	295.01	39.27	55.05	28.70	4.06	4.06	30	Memenuhi
VSS	mg/L	240.03	240.03	240.03	31.95	45.10	19.06	2.69	2.69	-	-
cBOD5	mgO2/L	285.00	285.00	285.00	160.18	135.18	1.32	0.75	0.75	30	Memenuhi

COD	mgCOD/L	645.00	645.00	645.00	289.90	259.10	69.96	43.91	43.91	100	Memenuhi
Ammonia Nitrogen	mgN/L	37.50	37.50	37.50	37.50	38.74	0.04	0.04	0.04	10	Memenuhi
TKN	mgN/L	60.00	60.00	60.00	44.11	44.11	2.53	0.93	0.93	-	-
TN	mgN/L	60.00	60.00	60.00	44.11	44.11	35.66	34.06	34.06	-	-
TP	mgP/L	15.00	15.00	15.00	8.97	8.97	8.97	7.86	7.86	-	-

SKENARIO 2 (Debit Tetap, Konsentrasi 1.7x)

		rawinf	EQeff	gritof	peff	eff	efftf	clareff	effluent	BMAL	Status
Flow	m3/d	1000.00	1000.00	999.98	989.98	989.98	989.98	969.98	969.98	-	-
TSS	mg/L	357.01	357.01	337.01	44.46	62.85	32.11	4.10	4.10	30	Memenuhi
VSS	mg/L	272.04	272.04	272.04	35.03	50.72	21.86	2.79	2.79	-	-
cBOD5	mgO2/L	323.00	323.00	323.00	181.65	153.40	1.62	0.78	0.78	30	Memenuhi
COD	mgCOD/L	731.00	731.00	731.00	328.88	294.16	79.53	49.22	49.22	100	Memenuhi
Ammonia Nitrogen	mgN/L	42.50	42.50	42.50	42.50	43.67	0.04	0.04	0.04	10	Memenuhi
TKN	mgN/L	68.00	68.00	68.00	48.87	48.89	2.83	0.97	0.97	-	-
TN	mgN/L	68.00	68.00	68.00	48.87	48.89	39.24	37.47	37.47	-	-
TP	mgP/L	17.00	17.00	17.00	9.31	9.31	9.24	8.15	8.15	-	-

SKENARIO 3 (Debit 1.3x, Konsentrasi 1.5x)

		rawinf	EQeff	gritof	peff	eff	efftf	clareff	effluent	BMAL	Status
Flow	m3/d	1300.00	1300.00	1299.97	1289.97	1289.97	1289.97	1269.97	1269.97	-	-
TSS	mg/L	315.01	315.01	295.01	68.16	79.59	49.81	5.47	5.47	30	Memenuhi
VSS	mg/L	240.03	240.03	240.03	55.46	64.66	31.59	3.47	3.47	-	-
cBOD5	mgO2/L	285.00	285.00	285.00	174.28	150.28	4.23	1.04	1.04	30	Memenuhi
COD	mgCOD/L	645.00	645.00	645.00	330.02	299.34	90.93	45.24	45.24	100	Memenuhi

Ammonia Nitrogen	mgN/L	37.50	37.50	37.50	37.50	38.67	0.05	0.05	0.05	10	Memenuhi
TKN	mgN/L	60.00	60.00	60.00	45.90	45.90	3.72	1.02	1.02	-	-
TN	mgN/L	60.00	60.00	60.00	45.90	45.90	33.55	30.85	30.85	-	-
TP	mgP/L	15.00	15.00	15.00	9.65	9.65	9.65	7.14	7.14	-	-

SKENARIO 3 (Debit 1.3x, Konsentrasi 1.7x)

		rawinf	EQeff	gritof	peff	eff	efftf	clareff	effluent	BMAL	Status
Flow	m3/d	1300.00	1300.00	1299.97	1289.97	1289.97	1289.97	1269.97	1269.97	-	-
TSS	mg/L	357.01	357.01	337.01	110.47	120.04	80.72	5.68	5.68	30	Memenuhi
VSS	mg/L	272.04	272.04	272.04	89.17	96.84	52.66	3.71	3.71	-	-
cBOD5	mgO2/L	323.00	323.00	323.00	213.31	186.52	9.86	1.28	1.28	30	Memenuhi
COD	mgCOD/L	731.00	731.00	731.00	418.93	383.85	130.77	50.80	50.80	100	Memenuhi
Ammonia Nitrogen	mgN/L	42.50	42.50	42.50	42.50	44.10	0.05	0.05	0.05	10	Memenuhi
TKN	mgN/L	68.00	68.00	68.00	54.03	54.03	5.76	1.07	1.07	-	-
TN	mgN/L	68.00	68.00	68.00	54.03	54.03	34.03	29.34	29.34	-	-
TP	mgP/L	17.00	17.00	17.00	10.98	10.98	10.98	7.02	7.02	-	-

SKENARIO 3 (Debit 2x, Konsentrasi 1.5x)

		rawinf	EQeff	gritof	peff	eff	efftf	clareff	effluent	BMAL	Status
Flow	m3/d	2000.00	2000.00	1999.96	1989.96	1989.96	1989.96	1969.96	1969.96	-	-
TSS	mg/L	315.01	315.01	295.01	148.11	159.36	137.14	8.97	8.97	30	Memenuhi
VSS	mg/L	240.03	240.03	240.03	120.51	129.55	90.44	5.91	5.91	-	-
cBOD5	mgO2/L	285.00	285.00	285.00	213.30	190.51	31.42	2.61	2.61	30	Memenuhi
COD	mgCOD/L	645.00	645.00	645.00	441.03	411.98	185.99	49.10	49.10	100	Memenuhi
Ammonia Nitrogen	mgN/L	37.50	37.50	37.50	37.50	38.18	0.07	0.07	0.07	10	Memenuhi

TKN	mgN/L	60.00	60.00	60.00	50.87	50.87	9.40	1.28	1.28	-	-
TN	mgN/L	60.00	60.00	60.00	50.87	50.87	35.58	27.47	27.47	-	-
TP	mgP/L	15.00	15.00	15.00	11.53	11.53	11.53	3.84	3.84	-	-

SKENARIO 3 (Debit 2x, Konsentrasi 1.7x)

		rawinf	EQeff	gritof	peff	eff	efftf	clareff	effluent	BMAL	Status
Flow	m3/d	2000.00	2000.00	1999.96	1989.96	1989.96	1989.96	1969.96	1969.96	-	-
TSS	mg/L	357.01	357.01	337.01	190.31	202.72	180.01	11.60	11.60	30	Memenuhi
VSS	mg/L	272.04	272.04	272.04	153.62	163.80	122.80	7.89	7.89	-	-
cBOD5	mgO2/L	323.00	323.00	323.00	251.97	226.30	47.45	3.61	3.61	30	Memenuhi
COD	mgCOD/L	731.00	731.00	731.00	528.92	496.19	243.04	57.44	57.44	100	Memenuhi
Ammonia Nitrogen	mgN/L	42.50	42.50	42.50	42.50	43.44	0.08	0.08	0.08	10	Memenuhi
TKN	mgN/L	68.00	68.00	68.00	58.96	58.96	12.56	1.52	1.52	-	-
TN	mgN/L	68.00	68.00	68.00	58.96	58.96	41.49	30.45	30.45	-	-
TP	mgP/L	17.00	17.00	17.00	13.10	13.10	13.10	3.95	3.95	-	-

Hasil Simulasi UASB+RBC

SKENARIO DASAR (Debit Tetap Konsentrasi Tetap)

		rawinf	EQeff	gritof	peff	effuasb	rbceff	clarseceff	effluent	BMAL	Status
Flow	m3/d	1000.00	1000.00	999.98	989.98	1019.98	1019.98	989.98	989.98	-	-
TSS	mg/L	210.00	210.00	190.00	22.81	332.10	315.61	4.96	4.96	30	Memenuhi
VSS	mg/L	160.02	160.02	160.02	19.21	97.58	80.36	1.26	1.26	-	-

cBOD5	mgO2/L	190.00	190.00	190.00	105.53	44.35	18.32	2.47	2.47	30	Memenuhi
COD	mgCOD/L	430.00	430.00	430.00	189.70	206.81	161.97	30.98	30.98	100	Memenuhi
Ammonia Nitrogen	mgN/L	25.00	25.00	25.00	25.00	25.47	0.91	0.91	0.91	10	Memenuhi
TKN	mgN/L	40.00	40.00	40.00	29.24	35.90	10.09	2.62	2.62	-	-
TN	mgN/L	40.00	40.00	40.00	29.24	35.91	14.76	7.30	7.30	-	-
TP	mgP/L	10.00	10.00	10.00	8.47	11.35	11.33	8.45	8.45	-	-

SKENARIO 1 (Debit 1.3x, Konsentrasi Tetap)

		rawinf	EQeff	gritof	peff	effuasb	rbceff	clarseceff	effluent	BMAL	Status
Flow	m3/d	1300.00	1300.00	1299.97	1289.97	1319.97	1319.97	1289.97	1289.97	-	-
TSS	mg/L	210.00	210.00	190.00	25.33	382.88	376.16	16.32	16.32	30	Memenuhi
VSS	mg/L	160.02	160.02	160.02	21.34	49.56	41.93	1.80	1.80	-	-
cBOD5	mgO2/L	190.00	190.00	190.00	106.81	24.19	13.10	2.92	2.92	30	Memenuhi
COD	mgCOD/L	430.00	430.00	430.00	193.33	117.18	99.04	32.26	32.26	100	Memenuhi
Ammonia Nitrogen	mgN/L	25.00	25.00	25.00	25.00	26.77	1.74	1.74	1.74	10	Memenuhi
TKN	mgN/L	40.00	40.00	40.00	29.41	32.57	7.30	3.55	3.55	-	-
TN	mgN/L	40.00	40.00	40.00	29.41	32.58	14.16	10.42	10.42	-	-
TP	mgP/L	10.00	10.00	10.00	8.49	9.91	9.91	8.50	8.50	-	-

SKENARIO 1 (Debit 2x, Konsentrasi Tetap)

		rawinf	EQeff	gritof	peff	effuasb	rbceff	clarseceff	effluent	BMAL	Status
Flow	m3/d	2000.00	2000.00	1999.96	1989.96	2019.96	2019.96	1989.96	1989.96	-	-
TSS	mg/L	210.00	210.00	190.00	34.26	285.06	260.06	17.87	17.87	30	Memenuhi
VSS	mg/L	160.02	160.02	160.02	28.85	196.77	173.24	11.91	11.91	-	-
cBOD5	mgO2/L	190.00	190.00	190.00	111.32	132.59	63.74	20.46	20.46	30	Memenuhi

COD	mgCOD/L	430.00	430.00	430.00	206.16	441.49	333.60	69.38	69.38	100	Memenuhi
Ammonia Nitrogen	mgN/L	25.00	25.00	25.00	25.00	25.04	21.70	21.70	21.70	10	Tidak Memenuhi
TKN	mgN/L	40.00	40.00	40.00	29.98	45.29	39.73	24.33	24.33	-	-
TN	mgN/L	40.00	40.00	40.00	29.98	45.29	39.78	24.38	24.38	-	-
TP	mgP/L	10.00	10.00	10.00	8.57	12.34	12.34	8.58	8.58	-	-

SKENARIO 2 (Debit Tetap, Konsentrasi 1.5x)

		rawinf	EQeff	gritof	peff	effuasb	rbceff	clarseceff	effluent	BMAL	Status
Flow	m3/d	1000.00	1000.00	999.98	989.98	1019.98	1019.98	989.98	989.98	-	-
TSS	mg/L	315.01	315.01	295.01	31.54	342.74	326.37	4.97	4.97	30	Memenuhi
VSS	mg/L	240.03	240.03	240.03	25.66	58.87	43.76	0.67	0.67	-	-
cBOD5	mgO2/L	285.00	285.00	285.00	156.41	34.31	18.21	3.56	3.56	30	Memenuhi
COD	mgCOD/L	645.00	645.00	645.00	279.16	143.90	113.84	44.42	44.42	100	Memenuhi
Ammonia Nitrogen	mgN/L	37.50	37.50	37.50	37.50	39.08	2.04	2.04	2.04	10	Memenuhi
TKN	mgN/L	60.00	60.00	60.00	43.63	46.43	8.37	4.31	4.31	-	-
TN	mgN/L	60.00	60.00	60.00	43.63	46.43	12.65	8.60	8.60	-	-
TP	mgP/L	15.00	15.00	15.00	9.09	10.12	10.10	9.07	9.07	-	-

SKENARIO 2 (Debit Tetap, Konsentrasi 1.7x)

		rawinf	EQeff	gritof	peff	effuasb	rbceff	clarseceff	effluent	BMAL	Status
Flow	m3/d	1000.00	1000.00	999.98	989.98	1019.98	1019.98	989.98	989.98	-	-
TSS	mg/L	357.01	357.01	337.01	35.26	345.53	328.49	4.98	4.98	30	Memenuhi
VSS	mg/L	272.04	272.04	272.04	28.46	65.53	50.46	0.76	0.76	-	-
cBOD5	mgO2/L	323.00	323.00	323.00	176.89	37.38	21.26	3.67	3.67	30	Memenuhi

COD	mgCOD/L	731.00	731.00	731.00	315.33	159.08	129.68	49.83	49.83	100	Memenuhi
Ammonia Nitrogen	mgN/L	42.50	42.50	42.50	42.50	44.54	4.30	4.30	4.30	10	Memenuhi
TKN	mgN/L	68.00	68.00	68.00	49.40	52.73	11.47	6.82	6.82	-	-
TN	mgN/L	68.00	68.00	68.00	49.40	52.73	14.24	9.59	9.59	-	-
TP	mgP/L	17.00	17.00	17.00	9.33	10.52	10.52	9.34	9.34	-	-

SKENARIO 3 (Debit 1.3x, Konsentrasi 1.5x)

		rawinf	EQeff	gritof	peff	effuasb	rbceff	clarseceff	effluent	BMAL	Status
Flow	m3/d	1300.00	1300.00	1299.97	1289.97	1319.97	1319.97	1289.97	1289.97	-	-
TSS	mg/L	315.01	315.01	295.01	53.45	398.71	380.95	9.59	9.59	30	Memenuhi
VSS	mg/L	240.03	240.03	240.03	43.49	106.75	90.36	2.27	2.27	-	-
cBOD5	mgO2/L	285.00	285.00	285.00	167.10	37.61	20.68	4.17	4.17	30	Memenuhi
COD	mgCOD/L	645.00	645.00	645.00	309.60	228.30	197.76	47.79	47.79	100	Memenuhi
Ammonia Nitrogen	mgN/L	37.50	37.50	37.50	37.50	40.89	13.94	13.94	13.94	10	Tidak Memenuhi
TKN	mgN/L	60.00	60.00	60.00	44.99	52.43	24.53	16.39	16.39	-	-
TN	mgN/L	60.00	60.00	60.00	44.99	52.44	27.10	18.96	18.96	-	-
TP	mgP/L	15.00	15.00	15.00	9.59	11.46	11.46	9.59	9.59	-	-

SKENARIO 3 (Debit 1.3x, Konsentrasi 1.7x)

		rawinf	EQeff	gritof	peff	effuasb	rbceff	clarseceff	effluent	BMAL	Status
Flow	m3/d	1300.00	1300.00	1299.97	1289.97	1319.97	1319.97	1289.97	1289.97	-	-
TSS	mg/L	357.01	357.01	337.01	95.77	424.58	395.16	24.20	24.20	30	Memenuhi
VSS	mg/L	272.04	272.04	272.04	77.30	208.59	181.83	11.13	11.13	-	-
cBOD5	mgO2/L	323.00	323.00	323.00	206.19	49.88	23.62	5.26	5.26	30	Memenuhi

COD	mgCOD/L	731.00	731.00	731.00	398.68	414.21	366.81	68.96	68.96	100	Memenuhi
Ammonia Nitrogen	mgN/L	42.50	42.50	42.50	42.50	47.41	26.60	26.60	26.60	10	Tidak Memenuhi
TKN	mgN/L	68.00	68.00	68.00	53.13	68.24	45.79	30.14	30.14	-	-
TN	mgN/L	68.00	68.00	68.00	53.13	68.24	47.63	31.98	31.98	-	-
TP	mgP/L	17.00	17.00	17.00	10.87	14.30	14.30	10.87	10.87	-	-

SKENARIO 3 (Debit 2x, Konsentrasi 1.5x)

		rawinf	EQeff	gritof	peff	effuasb	rbceff	clarseceff	effluent	BMAL	Status
Flow	m3/d	2000.00	2000.00	1999.96	1989.96	2019.96	2019.96	1989.96	1989.96	-	-
TSS	mg/L	315.01	315.01	295.01	138.58	338.62	298.20	56.61	56.61	30	Tidak Memenuhi
VSS	mg/L	240.03	240.03	240.03	112.76	230.07	192.93	36.63	36.63	-	-
cBOD5	mgO2/L	285.00	285.00	285.00	208.65	77.77	39.71	10.90	10.90	30	Memenuhi
COD	mgCOD/L	645.00	645.00	645.00	427.80	442.99	375.48	107.33	107.33	100	Tidak Memenuhi
Ammonia Nitrogen	mgN/L	37.50	37.50	37.50	37.50	42.12	33.31	33.31	33.31	10	Tidak Memenuhi
TKN	mgN/L	60.00	60.00	60.00	50.28	64.61	53.40	38.91	38.91	-	-
TN	mgN/L	60.00	60.00	60.00	50.28	64.61	53.60	39.11	39.11	-	-
TP	mgP/L	15.00	15.00	15.00	11.49	14.79	14.79	11.49	11.49	-	-

SKENARIO 3 (Debit 2x, Konsentrasi 1.7x)

		rawinf	EQeff	gritof	peff	effuasb	rbceff	clarseceff	effluent	BMAL	Status
Flow	m3/d	2000.00	2000.00	1999.96	1989.96	2019.96	2019.96	1989.96	1989.96	-	-

TSS	mg/L	357.01	357.01	337.01	180.79	360.16	312.92	71.47	71.47	30	Tidak Memenuhi
VSS	mg/L	272.04	272.04	272.04	145.92	243.44	200.41	45.77	45.77	-	-
cBOD5	mgO2/L	323.00	323.00	323.00	247.35	83.48	41.24	12.95	12.95	30	Memenuhi
COD	mgCOD/L	731.00	731.00	731.00	515.78	470.30	394.58	128.84	128.84	100	Tidak Memenuhi
Ammonia Nitrogen	mgN/L	42.50	42.50	42.50	42.50	48.85	41.22	41.22	41.22	10	Tidak Memenuhi
TKN	mgN/L	68.00	68.00	68.00	58.37	72.52	62.26	47.96	47.96	-	-
TN	mgN/L	68.00	68.00	68.00	58.37	72.52	62.40	48.09	48.09	-	-
TP	mgP/L	17.00	17.00	17.00	13.03	16.31	16.31	13.03	13.03	-	-

