



TUGAS AKHIR - RE 141581

PENGOLAHAN AIR LIMBAH RUMAH SAKIT DENGAN SISTEM LUMPUR AKTIF MODEL SBR SKALA LABORATORIUM

ERRILIA AFIFAH HAQUE
3313100034

Dosen Pembimbing
Adhi Yuniarto, ST., MT., Ph.D
NIP. 197306012000031001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - RE 141581

**PENGOLAHAN AIR LIMBAH RUMAH SAKIT
DENGAN SISTEM LUMPUR AKTIF MODEL SBR
SKALA LABORATORIUM**

ERRILIA AFIFAH HAQUE
3313100034

Dosen Pembimbing
Adhi Yuniarto, ST., MT., Ph.D
NIP. 197306012000031001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - RE 141581

**HOSPITAL WASTEWATER TREATMENT USING
ACTIVATED SLUDGE SYSTEM IN LABORATORY-
SCALE SBR MODEL**

ERRILIA AFIFAH HAQUE
3313100034

SUPERVISOR
Adhi Yuniarto, ST., MT., Ph.D
NIP. 197306012000031001

DEPARTMENT OF ENVIROMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

LEMBAR PENGESAHAN

PENGOLAHAN AIR LIMBAH RUMAH SAKIT DENGAN SISTEM LUMPUR AKTIF MODEL SBR SKALA LABORATORIUM

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ERRILIA AFIFAH HAQUE
NRP. 3313100034

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Adhi Yuniarto, ST., MT., Ph.D
NIP. 197306012000031001



Halaman ini sengaja dikosongkan

Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit dengan Sistem Lumpur Aktif Model SBR Skala Laboratorium

Nama Mahasiswa : Errilia Afifah Haque
NRP : 3313 100 034
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Adhi Yuniarto, ST., MT., Ph.D

ABSTRAK

Jumlah sarana pelayanan kesehatan di Indonesia terus meningkat hingga saat ini, termasuk meningkatnya jumlah rumah sakit. Hal tersebut menyebabkan air limbah rumah sakit yang dihasilkan juga meningkat secara kuantitas. Air limbah rumah sakit mengandung beberapa bahan pencemar dengan konsentrasi yang tinggi. Oleh karena itu, harus dilakukan pengolahan terhadap air limbah rumah sakit sebelum dibuang ke badan air. Salah satu alternatif pengolahannya adalah menggunakan model SBR. Di dalam air limbah rumah sakit terkandung bahan-bahan organik yang merupakan salah satu komposisi substrat yang dibutuhkan dalam pembentukan granular aerob pada SBR. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh durasi waktu aerasi dan prosentase beban air limbah terhadap kualitas effluen air limbah, terutama untuk penyisihan COD, ammonia-nitrogen dan fosfat.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan SBR skala laboratorium dengan kapasitas total volume operasional sebesar 6 L, yang terdiri dari 3 L lumpur aktif dan 3 L air limbah rumah sakit. Penelitian dengan pengolahan SBR ini dilakukan dengan sistem *intermittent* dan dikondisikan pada keadaan aerobik selama tahap reaksi. Dilakukan variasi prosentase beban air limbah sebesar 50%, 80% dan 100%. Dilakukan pula variasi terhadap durasi waktu aerasi pada tahap reaksi, yaitu selama 6 jam dan 10 jam. Waktu detensi untuk setiap siklus dengan waktu aerasi 6 jam adalah selama 8 jam. Sedangkan untuk variasi waktu aerasi 10 jam, waktu detensi setiap siklusnya adalah selama 12 jam. Dilakukan analisis

parameter utama setiap hari hingga akhir masa penelitian. Parameter utama yang dianalisis adalah COD, ammonia-nitrogen dan fosfat. Selain itu dilakukan pula analisis parameter tambahan yang berupa BOD, nitrat-nitrogen, nitrit-nitrogen, pH, MLSS dan MLVSS.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa air limbah rumah sakit dapat diolah menggunakan SBR dan dapat menghasilkan kualitas effluen yang cukup baik bila operasionalnya berjalan secara optimal. Hasil efisiensi penyisihan zat organik (COD) tertinggi sebesar 81% dan efisiensi penyisihan ammonia-nitrogen tertinggi sebesar 97% ditunjukkan oleh reaktor dengan waktu aerasi 10 jam dengan beban air limbah 100%. Efisiensi penyisihan fosfat tertinggi sebesar 95% dan efisiensi penyisihan ammonia-nitrogen tertinggi juga ditunjukkan oleh reaktor dengan beban air limbah 100% dan waktu aerasi 6 jam. Sedangkan nilai efisiensi penyisihan COD tertinggi pada reaktor dengan waktu aerasi 6 jam adalah sebesar 78%. Nilai tersebut memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan jika dibandingkan dengan reaktor yang memiliki waktu aerasi 10 jam. Sehingga reaktor dengan waktu aerasi 6 jam sudah mampu menyisihkan kandungan zat organik, ammonia-nitrogen dan fosfat secara optimal.

Kata kunci: Air limbah rumah sakit, Ammonia-nitrogen, Fosfat, *Sequencing Batch Reactor* (SBR), Zat Organik.

Hospital Wastewater Treatment Using Activated Sludge System in Laboratory-scale SBR Model

Student Name : Errilia Afifah Haque
Student ID : 3313 100 034
Department : Environmental Engineering
Supervisor : Adhi Yuniarto, ST., MT., Ph.D

ABSTRACT

The quantity of health care facilities in Indonesia continues to increase until these days, including the increasing number of hospitals. It causes hospital wastewater also increasing in quantity. Hospital wastewater contains some high concentrations of contaminants. Therefore, a treatment must be done on the hospital wastewater before being discharged to the water body. One of the alternative treatment is using SBR. Hospital wastewater contains organic materials which are one of the substrate compositions required for the formation of aerobic granules in the SBR. This study aims to determine the effect of duration of aeration time and percentage of wastewater loading on effluent quality, especially for removal of COD, ammonia-nitrogen and phosphate.

This research was conducted on laboratory scale, using SBR with total operational volume capacity of 6 L, consisting of 3 L of activated sludge and 3 L of hospital wastewater. SBR for this study was performed with an intermittent system and conditioned in aerobic state during the reaction phase. Percentage of 50%, 80% and 100% wastewater loading were performed. There were also variations on the duration of aeration time at the reaction phase, ie for 6 hours and 10 hours. The detention time for each cycle with an aeration time of 6 hours was 8 hours. As for the variation of 10-hours aeration time, the detention time for each cycle was 12 hours. The main parameters were analyzed every day until the end of the study period. The analyzed main parameters were COD,

ammonia-nitrogen and phosphate. In addition, additional parameters were analyzed in terms of BOD, nitrate-nitrogen, nitrite-nitrogen, pH, MLSS and MLVSS.

The results of this study indicated that the hospital wastewater can be treated using SBR and can produce a good quality of effluent when the operation runs optimally. The highest organic removal efficiency (COD) was 81% and the highest efficiency of ammonia-nitrogen removal was 97% achieved by reactor with 10-hours aeration time with 100% wastewater loading. The highest phosphate removal efficiency was 95% and the highest ammonia-nitrogen removal efficiency were also achieved by a reactor with 100% wastewater loading and 6-hours aeration time. Whereas, its highest COD removal efficiency was 78%. It had not very significant difference with the reactor that had 10 hours of aeration time. So that the reactor with aeration time of 6 hours had been able to remove the organic substances, ammonia-nitrogen and phosphate optimally.

Keywords: Ammonia-nitrogen, Hospital Wastewater, Organic Substance, Phosphate, *Sequencing Batch Reactor (SBR)*.

KATA PENGANTAR

Segala puji penulis panjatkan atas berkat dan rahmat Allah SWT dan utusan-Nya, yaitu Rasulullah SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit dengan Sistem Lumpur Aktif Model SBR Skala Laboratorium”. Penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari partisipasi dan bimbingan dari semua pihak. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Adhi Yuniarto, ST., MT., Ph.D, selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis serta telah meluangkan waktunya guna membimbing, memberi pengarahan, dan masukan dengan sabar kepada penulis.
2. Bapak Ir. Bowo Djoko Marsono, Bapak Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl. SE., M.Sc, M.Eng, Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE., M.Sc., Ph.D dan Bapak Alfian Purnomo, ST., MT, selaku dosen pengarah yang telah memberikan banyak sekali ilmu yang bermanfaat dan masukan-masukan yang sangat membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Bapak Welly Herumurti, ST., M.Sc, selaku dosen yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan ilmu, saran dan pengarahan selama pengerjaan tugas akhir ini.
4. Kedua orang tua dan seluruh keluarga penulis yang telah memberikan dukungan baik moril maupun materil dan selalu memberikan semangat kepada penulis.
5. Ana Anisa, Ravika Huda, Farahiya Hadiyanti, Afifah Yusrina, Waninda Aji, Bara Awanda, Putu Putri Indira, Silvi Fauziah dan teman-teman laboratorium lainnya atas dukungan dan bantuannya selama melakukan penelitian.
6. Teman-teman seperjuangan satu bimbingan, Nadya Essa dan Uridna Marwah yang telah membantu selama penelitian hingga pengerjaan laporan.
7. Semua sahabat serta teman-teman angkatan 2013 Teknik Lingkungan ITS yang selalu memberikan semangat,

dorongan dan bantuan, yang telah berjuang bersama dalam menghadapi semester delapan ini.

8. RSUD Dr. Soetomo Surabaya dan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Keputih Surabaya yang telah memberikan izin serta bantuan untuk menunjang terlaksananya penelitian tugas akhir ini.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, oleh karena itu penulis menerima kritik dan saran yang bersifat membangun sehingga penulisan tugas akhir ini dapat selesai dengan baik. Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Surabaya, 27 Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan.....	5
1.4 Ruang Lingkup.....	5
1.5 Manfaat.....	6
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	7
2.1 Air Limbah Rumah Sakit	7
2.1.1 Karakteristik Air Limbah Rumah Sakit	9
2.2 <i>Sequencing Batch Reaktor</i> (SBR)	11
2.2.1 Mekanisme Proses SBR.....	12
2.2.2 Kriteria Desain SBR.....	15
2.2.3 Perbandingan Pengolahan Lumpur Aktif Konvensional dengan SBR.....	16
2.2.4 Penyisihan Konsentrasi COD oleh SBR	17
BAB 3 METODE PENELITIAN	19
3.1 Gambaran Umum	19
3.2 Kerangka Penelitian.....	20
3.3 Alat dan Bahan	22
3.3.1 Alat	22
3.3.2 Bahan	23
3.4 Tahapan Penelitian.....	24
3.4.1 Percobaan Pendahuluan	24
3.4.2 Penelitian Utama	26
3.4.3 Analisis Parameter	29
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Analisis Karakteristik Awal.....	33
4.1.1 Analisis Karakteristik Air Limbah Rumah Sakit....	33
4.1.2 Analisis Karakteristik Lumpur Aktif IPLT	35

4.2	<i>Seeding</i> dan Aklimatisasi.....	35
4.3	Penelitian Utama	39
4.3.1	Hasil Penyisihan Konsentrasi COD	39
4.3.2	Hasil Penyisihan Konsentrasi Ammonia-Nitrogen (NH ₃ -N)	44
4.3.3	Hasil Penyisihan Konsentrasi Fosfat (PO ₄).....	48
4.3.4	Hasil Penyisihan Konsentrasi BOD.....	50
4.3.5	Hasil Analisis MLSS dan MLVSS.....	52
4.3.6	Hasil Penyisihan Konsentrasi Nitrat (NO ₃ -N) dan Nitrit (NO ₂ -N)	56
4.3.7	Analisis Rasio F/M	60
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN.....	63
5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran	64
	DAFTAR PUSTAKA	65
	LAMPIRAN A PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM.....	69
	LAMPIRAN B PERHITUNGAN DEBIT AERATOR DAN KAPASITAS REAKTOR	85
	LAMPIRAN C TABEL-TABEL DATA ANALISIS LAB	89
	LAMPIRAN D DOKUMENTASI PENELITIAN	103
	BIOGRAFI PENULIS	105

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Rumah Sakit	8
Tabel 2. 2 Sumber, Karakteristik dan Pengaruh Air Limbah Rumah Sakit	9
Tabel 2. 3 Karakteristik Air Limbah RSUD dr. M. Soewandhie Surabaya	10
Tabel 2. 4 Karakteristik Air Limbah RSUD Dr. Soetomo Surabaya	11
Tabel 2. 5 Parameter Desain Tipikal untuk SBR	15
Tabel 2. 6 Kriteria Desain Tipikal untuk SBR.....	16
Tabel 2. 7 Perbandingan SBR dengan Lumpur Aktif Konvensional	16
Tabel 3. 1 Variasi Durasi Waktu Aerasi dan Beban Air Limbah..	28
Tabel 4. 1 Analisis Karakteristik Air Limbah Rumah Sakit	34
Tabel 4. 2 Analisis Karakteristik Lumpur Aktif IPLT	35
Tabel 4. 3 Nilai COD Proses <i>Seeding</i> dan Aklamatisasi.....	36
Tabel 4. 4 Nilai MLSS Proses <i>Seeding</i> dan Aklamatisasi.....	38
Tabel 4. 5 Efisiensi Penyisihan COD Setiap Reaktor	43
Tabel 4. 6 Efisiensi Penyisihan Ammonia-Nitrogen Setiap Reaktor	47
Tabel 4. 7 Efisiensi Penyisihan Fosfat Setiap Reaktor	49
Tabel 4. 8 Efisiensi Penyisihan BOD Setiap Reaktor	52
Tabel 4. 9 Konsentrasi MLSS pada Setiap Reaktor	54
Tabel 4. 10 Konsentrasi MLVSS pada Setiap Reaktor	56

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tahap-tahap dalam Siklus Operasi SBR	12
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian	21
Gambar 3. 2 Alat-alat Penelitian.....	22
Gambar 4. 1 <i>Triangle Zone</i> untuk Rasio BOD/COD Sumber: Samudro dan Mangkoediharjo, 2010	34
Gambar 4. 2 Efisiensi Penyisihan COD Proses <i>Seeding</i> dan Aklimatisasi	37
Gambar 4. 3 Efisiensi Penyisihan COD Setiap Prosentase Beban Air Limbah pada Variasi Waktu Aerasi 6 Jam	40
Gambar 4. 4 Efisiensi Penyisihan COD Setiap Prosentase Beban Air Limbah pada Variasi Waktu Aerasi 10 Jam	42
Gambar 4. 5 Efisiensi Penyisihan Ammonia-Nitrogen Setiap Variasi Waktu Aerasi terhadap Prosentase Beban Air Limbah	45
Gambar 4. 6 Efisiensi Penyisihan Fosfat Setiap Variasi Waktu Aerasi terhadap Prosentase Beban Air Limbah	48
Gambar 4. 7 Efisiensi Penyisihan BOD Setiap Variasi Waktu Aerasi terhadap Prosentase Beban Air Limbah	51
Gambar 4. 8 Konsentrasi MLSS pada Setiap Reaktor	53
Gambar 4. 9 Konsentrasi MLVSS pada Setiap Reaktor	55
Gambar 4. 10 Efisiensi Penyisihan Nitrat Setiap Variasi Waktu Aerasi terhadap Prosentase Beban Air Limbah ...	57
Gambar 4. 11 Efisiensi Penyisihan Nitrit Setiap Variasi Waktu Aerasi terhadap Prosentase Beban Air Limbah ...	59
Gambar 4. 12 Rasio F/M Setiap Variasi Waktu Aerasi terhadap Prosentase Beban Air Limbah	60

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Rumah sakit adalah salah satu sarana pelayanan kesehatan sebagai upaya untuk meningkatkan dan memelihara kesehatan masyarakat. Dengan jumlah penduduk yang terus meningkat, kebutuhan akan sarana pelayanan kesehatan pun juga ikut meningkat. Dengan meningkatnya jumlah rumah sakit, maka air limbah yang dihasilkan juga akan meningkat secara kuantitas. Rata-rata air limbah yang dihasilkan rumah sakit adalah sebesar 750 L per tempat tidur dan hari (Rezaee *et al*, 2005). Terdapat berbagai kegiatan sarana pelayanan kesehatan yang dilakukan di rumah sakit yang menghasilkan limbah cair maupun limbah padat. Untuk air limbah rumah sakit pada umumnya berupa campuran keseluruhan air limbah domestik (buangan dari kamar mandi, dapur, air bekas pencucian), air limbah klinis, air limbah laboratorium dan hasil dari berbagai kegiatan lainnya di rumah sakit. Terdapatnya air limbah domestik mengakibatkan kandungan zat organik yang tinggi di dalam air limbah rumah sakit.

Untuk mewujudkan pelayanan kesehatan yang baik, terdapat empat faktor yang harus dipenuhi, salah satunya adalah manajemen rumah sakit yang baik termasuk manajemen lingkungan (Waluyo, 2009). Sesuai dengan hasil *Rapid Assesment* tahun 2002 yang dilakukan oleh P2MPL Direktorat Penyediaan Air dan Sanitasi yang melibatkan Dinas Kesehatan Kabupaten dan Kota, menyatakan bahwa dari 1.476 rumah sakit yang ada hanya 648 rumah sakit (36%) yang memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Dari 648 rumah sakit tersebut, hanya 52% rumah sakit yang bisa mengolah air limbahnya dengan baik dengan kualitas air limbah hasil olahan yang memenuhi baku mutu (Djaja dan Maniksulistya, 2006). Hal tersebut menjelaskan bahwa efisiensi pengolahan IPAL rumah sakit di Indonesia masih sangat rendah, selain itu juga masih banyak rumah sakit yang belum memiliki teknologi pengolahan air limbah yang

dihasilkannya. Teknologi pengolahan air limbah rumah sakit yang sering digunakan antara lain adalah proses aerasi kontak (*Contact Aeration Process*), reaktor putar biologis (*Rotating Biological Contactor, RBC*), proses lumpur aktif (*Activated Sludge Process*), proses *biofilter "Up Flow"*, proses "*biofilter anaerob-aerob*" serta proses ozonasi (Prayitno, 2011).

Unit pengolahan air limbah rumah sakit di Indonesia yang menggunakan pengolahan biologis di dalamnya pada umumnya masih menggunakan teknologi pengolahan lumpur aktif (*activated sludge*) konvensional. Unit pengolahan air limbah konvensional masih memiliki kekurangan di berbagai aspek. Mulai dari kebutuhan lahan yang luas hingga efisiensi kinerja dari sistem pengolahan air limbah itu sendiri. Unit pengolahan air limbah konvensional cenderung membentuk bioflok yang memiliki kecepatan pengendapan rendah. Flok lumpur aktif terbentuk dengan diameter tipikal antara 30 hingga 1.800 μm , tetapi memiliki densitas yang hanya sedikit lebih tinggi dibanding densitas air (Etterer, 2006). Dibutuhkan unit pengendap terpisah untuk memisahkan supernatan dari endapan flok lumpur aktif yang terbentuk. Oleh karena itu dibutuhkan *total hydraulic retention time* (HRT) yang tinggi, sehingga menyebabkan biaya operasional untuk unit pengolahan air limbah konvensional menjadi lebih besar.

Salah satu teknologi pengolahan air limbah yang menerapkan prinsip pembentukan granulasi aerobik di dalamnya adalah *Sequencing Batch Reaktor* (SBR). Dengan terbentuknya granular aerob pada unit SBR ini, proses pengolahan biologis dan proses pengendapan dapat terjadi di dalam satu unit atau tangki. Tidak dibutuhkan unit pengendap atau *clarifier* terpisah untuk proses pengendapan setelah proses pengolahan biologis. Karena berat dan ukuran granular aerob lebih besar dibandingkan flok, sehingga kecepatan pengendapannya juga lebih besar. Selama tahap aerasi di dalam SBR, akan terjadi proses pembentukan lumpur, dan ammonia akan teroksidasi menjadi nitrat dan nitrit. Kemudian selama tahap pengendapan di dalam SBR, lumpur akan terendapkan, dan juga memungkinkan terjadinya proses denitrifikasi pada tahap ini (Elmolla *et al*, 2012).

SBR ini sudah digunakan di beberapa negara untuk mengolah air limbah domestik maupun air limbah industri. Pengolahan air limbah menggunakan SBR ini sedang berkembang dan merupakan teknologi yang sangat menjanjikan untuk masa depan. Karena dibandingkan dengan teknologi pengolahan air limbah secara konvensional, SBR ini memiliki lebih banyak kelebihan yang dapat memberikan keuntungan dalam berbagai aspek. Keuntungan dalam berbagai aspek tersebut erat kaitannya dengan kelebihan yang dimiliki oleh granular aerob jika dibandingkan dengan flok lumpur aktif pada pengolahan lumpur aktif konvensional.

Proses yang terjadi di dalam SBR sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor-faktor tersebut sangat erat kaitannya dengan proses pembentukan granular aerob yang terjadi di dalam SBR. Salah satu faktor utama yang mempengaruhi proses pembentukan granular aerob adalah lamanya waktu pengendapan pada tahap *settle* (pengendapan) di dalam siklus SBR. Pengolahan dengan SBR ini memiliki beberapa tahap di dalam satu siklus pengolahan. Dimana tahapan-tahapan tersebut memiliki waktu optimal masing-masing agar terbentuk granular aerob dengan karakteristik fisik yang baik. Tahap-tahap yang ada di dalam siklus pengolahan SBR ini mencakup pengolahan biologis dan juga proses pengendapan setelahnya.

Pada penelitian ini, air limbah yang digunakan dalam proses pembentukan granular aerob dengan SBR adalah air limbah rumah sakit. Air limbah rumah sakit mengandung berbagai bahan pencemar yang berbahaya bagi lingkungan jika dibuang langsung tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu. Oleh karena itu, harus dilakukan pengolahan terhadap air limbah rumah sakit sebelum dibuang ke badan air, salah satu alternatif pengolahannya adalah menggunakan teknologi sistem lumpur aktif model SBR. Karena di dalam air limbah rumah sakit terkandung bahan-bahan organik yang merupakan salah satu komposisi substrat yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme, sehingga akan membantu dalam proses pembentukan granular aerob pada SBR.

1.2 Rumusan Masalah

Air limbah hasil kegiatan rumah sakit sangat berbahaya jika langsung dibuang ke badan air tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu. Permasalahan seperti tercemarnya lingkungan perairan sekitar hingga terganggunya kesehatan warga sekitar dapat terjadi. Air limbah rumah sakit juga memiliki kandungan zat organik yang tinggi.

SBR sudah diterapkan sebagai unit pengolah air limbah secara biologis untuk mengolah air limbah perkotaan maupun industri di beberapa negara. SBR memiliki kemampuan untuk menghilangkan kandungan bahan pencemar dengan konsentrasi tinggi yang terkandung di dalam air limbah. Selain memiliki efektivitas pengolahan yang sangat baik, SBR juga memiliki efisiensi waktu pengolahan yang jauh lebih baik dibandingkan dengan teknologi pengolahan air limbah konvensional lainnya. Hal tersebut disebabkan karena granular aerob yang terbentuk memiliki kecepatan pengendapan yang lebih tinggi dibandingkan kecepatan pengendapan flok. Selain itu, dengan adanya tahapan-tahapan di dalam satu siklus, SBR dapat dioperasikan sesuai dengan kebutuhan penyisihan yang diinginkan, baik penyisihan ammonia-nitrogen maupun fosfat serta kandungan bahan pencemar lainnya.

Berdasarkan karakteristik kandungan bahan pencemar di dalam air limbah rumah sakit, dilakukan penelitian mengenai efisiensi penyisihan kandungan zat organik, ammonia-nitrogen dan fosfat pada air limbah rumah sakit dengan menggunakan SBR. Dilakukan variasi terhadap waktu aerasi pada tahap reaksi di dalam siklus SBR. Variasi prosentase pembebanan air limbah rumah sakit juga dilakukan di dalam penelitian ini. Kemudian dilakukan analisis pengaruh variasi waktu aerasi dan variasi prosentase pembebanan air limbah terhadap kualitas effluen air limbah yang dihasilkan. Parameter utama yang dianalisis pada penelitian SBR ini adalah COD, ammonia-nitrogen dan fosfat.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kemampuan SBR sebagai unit pengolahan air limbah rumah sakit.
2. Mengetahui pengaruh durasi waktu aerasi pada tahap reaksi terhadap kualitas effluen air limbah, terutama dalam penyisihan COD, ammonia-nitrogen dan fosfat.
3. Mengetahui pengaruh prosentase pembebanan konsentrasi air limbah berdasarkan nilai COD pada pengolahan air limbah rumah sakit menggunakan SBR.

1.4 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini adalah:

1. Sampel air limbah yang digunakan adalah air limbah rumah sakit dari RSUD Dr. Soetomo Surabaya.
2. Jenis reaktor yang digunakan adalah *Sequencing Batch Reactor* (SBR).
3. Variabel penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi durasi waktu aerasi pada tahap reaksi.
4. Variabel penelitian lain yang digunakan pada penelitian ini adalah prosentase pembebanan konsentrasi air limbah berdasarkan nilai COD.
5. Parameter yang dianalisis:
6. Parameter utama, berupa: COD, NH₃-N (Ammonia-Nitrogen), PO₄ (Fosfat).
7. Parameter tambahan, berupa: BOD, NO₃-N (Nitrat-Nitrogen), NO₂-N (Nitrit-Nitrogen), pH, MLSS dan MLVSS.
8. Dilakukan penelitian dalam skala laboratorium dengan pengondisian sesuai dengan kondisi yang sebenarnya.
9. Penelitian dilakukan di Departemen Teknik Lingkungan ITS.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan hasil penelitian ilmiah mengenai efektivitas kinerja SBR untuk mengolah air limbah rumah sakit dengan parameter berupa penurunan COD, ammonia-nitrogen dan fosfat.
2. Memberikan hasil penelitian mengenai efisiensi penyisihan COD, ammonia-nitrogen dan fosfat terhadap berbagai variasi yang dilakukan.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah Rumah Sakit

Air limbah rumah sakit adalah keseluruhan air buangan yang berasal dari kegiatan sarana pelayanan kesehatan yang meliputi air limbah domestik, air limbah klinis, air limbah laboratorium dan lain sebagainya. Air limbah domestik berasal dari air buangan kamar mandi, dapur dan air bekas pencucian pakaian. Air limbah klinis berasal dari air limbah kegiatan klinis rumah sakit, misalnya air bekas cucian luka, cucian darah, dan lain-lain. Air limbah rumah sakit didominasi oleh air limbah domestik yang pada umumnya mengandung senyawa pencemar organik yang cukup tinggi. Sedangkan sisanya adalah air limbah yang terkontaminasi oleh *infectious agents* kultur mikroorganisme, darah, buangan pasien pengidap penyakit infeksi, dan lain sebagainya.

Jenis air limbah yang dihasilkan oleh fasilitas pelayanan kesehatan dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Air limbah domestik
2. Air limbah klinis
3. Air limbah laboratorium klinik dan kimia
4. Air limbah radioaktif (tidak boleh masuk ke IPAL)

(Kemenkes, 2011)

Dengan tingginya kandungan senyawa organik pada air limbah rumah sakit, maka dapat dilakukan pengolahan secara biologis dengan memanfaatkan aktifitas yang berasal dari mikroorganisme untuk menguraikan senyawa polutan organik tersebut. Pengolahan air limbah secara biologis bisa dilakukan pada kondisi aerobik, kondisi anaerobik maupun kombinasi antara kondisi aerobik dan anaerobik. Pengolahan biologis pada kondisi aerobik biasanya digunakan untuk mengolah air limbah dengan nilai konsentrasi BOD yang tidak terlalu tinggi. Sedangkan pengolahan biologis pada kondisi anaerobik bisa digunakan untuk mengolah

air limbah dengan konsentrasi BOD air limbah yang sangat tinggi. (Rejeki *et al*, 2014).

Menurut Boillot (2008), Carballa *et al* (2004) dan Jolibois dan Guerbet (2006), meskipun kualitas air limbah rumah sakit hampir mirip dengan air limbah perkotaan, tetapi effluen dari air limbah rumah sakit memungkinkan masih adanya kandungan senyawa farmasi non-metabolis, antibiotik, desinfektan, anestesi, unsur radioaktif, agen kontras X-ray dan senyawa persisten dan berbahaya lainnya (Amouei *et al*, 2012).

Hasil effluen pengolahan air limbah rumah sakit ataupun fasilitas peyalanan kesehatan lainnya harus memenuhi peraturan yang telah ditetapkan. Peraturan terkait adalah keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor: Kep-58/MENLH/12/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Rumah Sakit (Lampiran 1). Untuk rumah sakit yang berada di wilayah Jawa Timur, peraturan yang digunakan adalah Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya (Lampiran III), yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Rumah Sakit

Baku Mutu Limbah Cair Untuk Kegiatan Rumah Sakit Volume Limbah Cair Maksimum 500L/(orang.hari)	
Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)
Suhu	30°C
pH	6 – 9
BOD ₅	30
COD	80
TSS	30
NH ₃ -N bebas	0,1
PO ₄	2
MPN-Kuman Golongan Koli / 100mL	10.000

Sumber: Pergub Jatim Nomor 72, 2013

2.1.1 Karakteristik Air Limbah Rumah Sakit

Air limbah rumah sakit memiliki karakteristik yang berbeda-beda berdasarkan pada sumber penghasilnya. Data mengenai sumber air limbah, karakteristik serta pengaruhnya terhadap pengolahan secara biologis bisa dilihat pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2. 2 Sumber, Karakteristik dan Pengaruh Air Limbah Rumah Sakit

Sumber Air Limbah	Material-material Utama	Pengaruh Saat Konsentrasi Tinggi Pada Penanganan Biologis
<ul style="list-style-type: none"> • Rawat Inap • Rawat Jalan • Rawat Darurat • Rawat Intensif • Haemodialisa • Bedah Sentral • Rawat Isolasi 	<ul style="list-style-type: none"> • Material organik • Ammonia • Bakteri patogen • Antiseptik • Antibiotik 	<ul style="list-style-type: none"> • Antiseptik: beracun untuk mikroorganisme • Antibiotik: beracun untuk mikroorganisme
Laboratorium klinik dan kimia	<ul style="list-style-type: none"> • Material solvent organik • Fosfor • Logam berat • pH fleksibel 	<ul style="list-style-type: none"> • Logam berat: beracun untuk mikroorganisme • pH fleksibel: beracun untuk mikroorganisme
Ruang dapur	<ul style="list-style-type: none"> • Material organik • Minyak/lemak • Fosfor • Pembersih ABS 	<ul style="list-style-type: none"> • Minyak/lemak: mengurangi perpindahan oksigen ke air • Pembersih ABS: terbentuk gelembung-gelembung dalam bioreaktor
Ruang cuci (<i>laundry</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Fosfor • pH 8 ~ 10 • ABS, N-heksana 	<ul style="list-style-type: none"> • pH 8 ~ 10: beracun untuk mikroorganisme • ABS, N-heksana: terbentuk gelembung-

Sumber Air Limbah	Material-material Utama	Pengaruh Saat Konsentrasi Tinggi Pada Penanganan Biologis
		gelembung dalam bioreaktor
Ruang pemrosesan sinar X	Ag, logam berat lain	Ag: beracun untuk mikroorganisme
Ruang radio-isotop	Senyawa-senyawa radioaktif	Senyawa-senyawa radioaktif: beracun

Sumber: Kemenkes, 2011

Analisis karakteristik air limbah dilakukan dengan tujuan untuk memahami sifat-sifat dan karakteristik kimia, fisika dan biologis dari air limbah tersebut. Selain itu juga untuk mengetahui konsentrasi dari setiap parameter yang diuji, sehingga dapat ditentukan sejauh mana tingkat pencemaran yang dapat ditimbulkan air limbah tersebut terhadap lingkungan. Tabel 2.3 berikut adalah salah satu referensi data karakteristik air limbah RSUD dr. M. Soewandhie yang merupakan rumah sakit kelas B di Surabaya.

Tabel 2. 3 Karakteristik Air Limbah RSUD dr. M. Soewandhie Surabaya

Parameter	Satuan	Kadar
BOD ₅	mg/L	125,3
COD	mg/L	283,62
TSS	mg/L	145
pH	-	7
Koliform Tinja	MPN/100 ml	49.10 ³

Sumber: Hasil Uji Lab. BBTCLPP

Dari hasil analisis laboratorium di atas dapat diketahui bahwa kualitas air limbah untuk parameter BOD₅, COD, TSS, dan MPN Coli di RSUD dr. M. Soewandhie melebihi baku mutu yang telah ditetapkan (Akbar dan Sudarmaji, 2013)

Menurut Permatasari (2011), parameter penelitian yang diacu oleh RSUD Dr. Soetomo Surabaya adalah berdasarkan KepGub Jatim 61/1999 (Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Rumah Sakit di Propinsi Daerah Tingkat I Jatim), yaitu BOD/COD kompos dan limbah, TSS, pH, suhu, DO, deterjen *anionic*, phenol, orthophospat, sisa klor, NH₃ bebas, dan aspek fitoteknologi seperti laju evapotranspirasi dan kadar tumbuhan. Pada Tabel 2.4 merupakan nilai untuk setiap parameter sesuai hasil pengukuran pada penelitian terdahulu untuk air limbah influen IPAL RSUD Dr. Soetomo.

Tabel 2. 4 Karakteristik Air Limbah RSUD Dr. Soetomo Surabaya

Parameter	Satuan	Konsentrasi Awal
BOD	mg/L	32,18
COD	mg/L	280
DO	mg/L	0
pH	-	7,37
Suhu	°C	27,2
TSS	mg/L	240,4
Sisa Klor	mg/L	0
Orthofosfat	mg/L	7,05
Ammonium	mg/L	147,39
Surfaktan	mg/L	1,01
Phenol	mg/L	0,08
Rasio BOD/COD	-	0,11

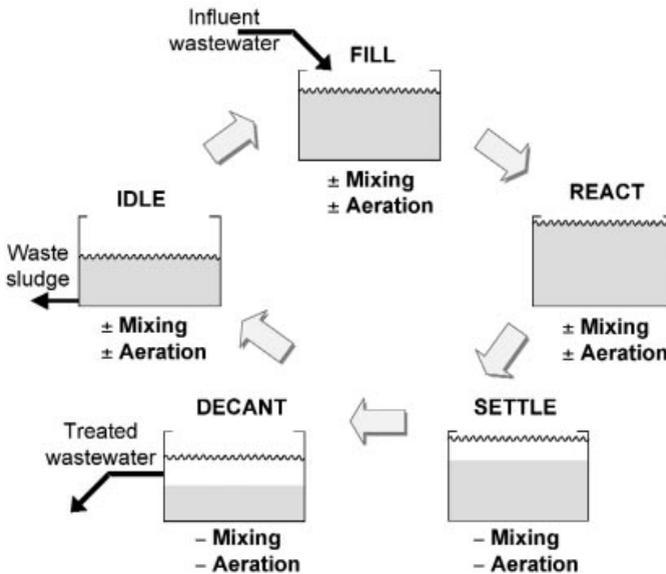
Sumber: Permatasari, 2011

2.2 Sequencing Batch Reaktor (SBR)

Sequencing Batch Reaktor (SBR) adalah pengolahan air limbah berdasarkan sistem *activated sludge* dan dioperasikan dalam sebuah siklus *fill-and-draw* (Vives, 2005). Pada SBR, air limbah yang dimasukkan ke dalam reaktor "*batch*" tunggal diolah untuk menyisahkan komponen-komponen yang tidak diinginkan, dan kemudian dialirkan keluar (Mahvi, 2008).

2.2.1 Mekanisme Proses SBR

Di dalam pengolahan menggunakan SBR, terdapat lima tahap dalam setiap siklus, yaitu tahap *fill*, tahap *react* (*aeration*), tahap *settle* (*sedimentation/clarification*), tahap *decant/draw* dan tahap *idle* (Metcalf dan Eddy, 2003). Skema tahap-tahap di dalam siklus SBR bisa dilihat pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2. 1 Tahap-tahap dalam Siklus Operasi SBR

Sumber: NEIWPC Manual, 2005

1. *Fill* (Pengisian)

Pada tahap pengisian ini, bak reaktor menerima air limbah yang masuk sebagai influen. Di dalam air limbah tersebut terkandung makanan atau substrat yang dibutuhkan oleh mikroorganisme di dalam lumpur aktif, sehingga akan menciptakan kondisi yang ideal untuk terjadinya reaksi biokimia. *Mixing* dan aerasi bisa divariasikan selama tahap pengisian dengan tujuan untuk menciptakan tiga kondisi yang berbeda, antara lain:

- a. *Static Fill* (Pengisian Statis)
Tidak dilakukan proses pengadukan maupun aerasi selama pengisian reaktor oleh air limbah pada tahap pengisian statis ini. Dengan tidak dilakukannya proses pengadukan dan aerasi, maka tidak akan terjadi proses nitrifikasi maupun denitrifikasi. Selain itu juga akan mengurangi penggunaan energi karena pengaduk (*mixer*) dan *aerator* berada dalam keadaan mati.
 - b. *Mixed Fill* (Pengisian Teraduk)
Dilakukan proses pengadukan tanpa proses aerasi, dengan kata lain pengaduk (*mixer*) tetap menyala tetapi *aerator* berada dalam keadaan mati. Pengondisian ini menyebabkan terciptanya kondisi *anoxic* yang memicu terjadinya proses denitrifikasi. Tetapi tidak menutup kemungkinan terciptanya kondisi anaerobik yang akan menyebabkan terlepasnya senyawa fosfor selama tahap pengisian teraduk ini.
 - c. *Aerated Fill* (Pengisian Teraerasi)
Pada tahap pengisian teraerasi ini dilakukan proses aerasi dan pengadukan selama pengisian air limbah influen ke dalam reaktor. Pada tahap ini akan tercipta kondisi yang sepenuhnya aerobik. Tidak ada pengaturan untuk siklus pengisian teraerasi yang dibutuhkan agar tercapai kondisi dimana terjadi proses nitrifikasi maupun penurunan zat organik. *Dissolved Oxygen* (DO) harus dijaga agar tetap di atas 2 mg/L, agar kondisi aerobik tetap terjaga.
2. *React* (Reaksi)
Pada tahap ini tidak ada air limbah influen yang masuk ke dalam reaktor lagi, sehingga tidak ada penambahan volume dan beban organik (*organic loadings*) ke dalam reaktor. Proses pengadukan dan aerasi tetap berjalan selama tahap ini yang akan menyebabkan laju penyisihan zat organik meningkat secara pesat.

Pada tahap ini terjadi penyisihan *carbonaceous* BOD dan nitrifikasi jika pengadukan dan aerasi dilakukan secara menerus. Denitrifikasi mayoritas terjadi pada tahap pengisian teraduk, selain itu juga terjadi pelepasan senyawa fosfor. Tetapi terjadi penambahan fosfor pada saat tahap reaksi.

3. *Settle* (Pengendapan)

Pada tahap ini juga tidak ada debit air limbah yang masuk ke dalam reaktor. Selain itu juga tidak dilakukan pengadukan dan aerasi, selama tahap ini lumpur aktif dibiarkan untuk mengendap dalam kondisi tenang. Lumpur aktif cenderung untuk mengendap sebagai massa flokulan. Akan terbentuk massa flokulan berupa granular aerob jika setiap pada setiap tahap dilakukan pengondisian dan perlakuan yang menunjang untuk terbentuknya granular aerob. Tahap ini merupakan tahap yang sangat penting, karena jika ada padatan yang tidak bisa mengendap secara cepat, maka padatan tersebut dapat ikut tertarik keluar pada tahap *decant*, sehingga akan menurunkan kualitas effluen.

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

Setelah tahap pengendapan selesai, sinyal akan dikirim ke *decanter* sehingga *valve* untuk *effluent-discharge* (pengaliran effluen) dibuka. Pada tahap ini dilakukan penyisihan effluen supernatan dengan menggunakan *decanter*. Ada dua jenis *decanter*, yaitu *decanter* terapung dan *fixed-arm*. Dengan adanya volume pengisian dan penarikan (*fill and draw*) yang berfluktuatif, maka lebih baik digunakan *decanter* jenis terapung. Karena *decanter* terapung bisa menjaga *orifice* inlet agar tetap berada di bawah permukaan air. Tujuannya adalah untuk meminimalkan penyisihan padatan pada effluen tersisihkan selama tahap dekantasi. Sedangkan *decanter* jenis *fixed-arm* lebih baik digunakan jika volume *fill and draw* tidak terlalu berfluktuatif. Jarak vertikal *decanter* dari bawah reaktor harus optimum agar tidak terjadi turbulensi pada endapan.

5. *Idle* (Pembuangan Lumpur)

Pada tahap ini, dilakukan pembuangan lumpur aktif yang berada pada bagian bawah SBR dengan jumlah volume yang sedikit. Waktu yang digunakan untuk tahap ini sangat bervariasi tergantung pada laju debit influen dan strategi operasi SBR. Tahap ini biasanya dilakukan diantara tahap dekantasi dan tahap pengisian.

(NEIWPPC, 2005)

2.2.2 Kriteria Desain SBR

Pada perencanaan unit SBR, terdapat beberapa kriteria desain yang digunakan sebagai acuan untuk membuat desain unit SBR. Di dalam membuat desain unit SBR, nilai kriteria desain yang diambil juga harus disesuaikan dengan karakteristik influen serta effluen air limbah yang akan diolah. Pada Tabel 2.5 berikut adalah parameter desain tipikal yang digunakan sebagai acuan dalam perencanaan unit SBR.

Tabel 2. 5 Parameter Desain Tipikal untuk SBR

Parameter	Nilai
SRT (hari)	10 – 30
F/M (kg BOD/kg MLVSS.hari)	0,04 – 0,10
Volumetric loading (kg BOD/m ³ .hari)	0.1 – 0,3
MLSS (mg/L)	2000 – 5000
Total T (jam)	15 – 40

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2003

Dalam operasional SBR, waktu di dalam satu siklus untuk tahap pengisian, pengendapan dan dekantasi merupakan hal yang sangat penting dalam perencanaan. Selain itu konsentrasi oksigen yang disuplai ke dalam reaktor juga harus diperhatikan di dalam operasional SBR. Pada Tabel 2.6 berikut adalah kriteria desain tipikal untuk pengolahan lumpur aktif model SBR.

Tabel 2. 6 Kriteria Desain Tipikal untuk SBR

Parameter	Nilai
BOD load (g/hari/m ³)	80 – 240
Waktu siklus (jam)	
<i>Fill</i> (aerasi)	1 – 3
<i>Settle</i>	0,7 – 1
<i>Draw</i>	0,5 – 1,5
MLSS (mg/L)	2300 – 5000
MLVSS (mg/L)	1500 – 3500
HRT (jam)	15 – 40
Θ_c (hari)	20 – 40
F/M (kg BOD/kg MLVSS.hari)	0,04 – 0,10

Sumber: Wang *et al*, 2009

2.2.3 Perbandingan Pengolahan Lumpur Aktif Konvensional dengan SBR

Pada Tabel 2.7 berikut adalah beberapa keuntungan dan juga keterbatasan yang terdapat pada SBR dan juga pengolahan lumpur aktif (*activated sludge*) konvensional.

Tabel 2. 7 Perbandingan SBR dengan Lumpur Aktif Konvensional

Proses	Keuntungan	Keterbatasan
<i>Conventional Plug Flow</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Proses telah terbukti • Memungkinkan untuk meremoval kadar ammonia yang tinggi • Mudah disesuaikan dengan berbagai skema operasional 	<ul style="list-style-type: none"> • Desain dan operasional untuk pengaturan aerasi lebih kompleks • Sulit untuk menyesuaikan suplai oksigen dengan kebutuhan oksigen pada tahap awal

Proses	Keuntungan	Keterbatasan
<i>Sequencing Batch Reactor</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Proses lebih sederhana, <i>clarifier</i> akhir dan pompa RAS tidak dibutuhkan • Fasilitas kompak • Operasional fleksibel, penyisihan nutrien bisa dicapai dengan mengubah operasional • Bisa dioperasikan sebagai proses pemilih (<i>selector process</i>) untuk meminimalisasi potensi <i>sludge bulking</i> • Proses pengendapan meningkatkan pemisahan padatan (effluen SS rendah) • Bisa diaplikasikan pada berbagai ukuran instalasi. 	<ul style="list-style-type: none"> • Kontrol dari proses lebih rumit • Debit puncak yang tinggi bisa mengganggu operasional, kecuali sudah diperhitungkan dalam desain • Mungkin membutuhkan proses ekualisasi sebelum filtrasi dan desinfeksi • Keahlian tinggi untuk pemeliharaan • Beberapa desain menggunakan alat aerasi dengan efisiensi rendah

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2003

2.2.4 Penyisihan Konsentrasi COD oleh SBR

Optimalisasi kondisi operasional *Sequencing Batch Reactor* (SBR) untuk mengolah air limbah farmasi non-penisilin pada penelitian ini dilakukan dengan variasi HRT 12 jam, 24 jam dan 48 jam. Selain itu dilakukan variasi pada konsentrasi MLSS, yaitu tinggi (6000 mg/L) dan rendah (4000 mg/L). Volume operasional masing-masing reaktor adalah 1,5 L dengan volume lumpur sebesar 0,5 L dan volume dekantasi 1 L. Periode siklus dibagi menjadi 5 tahap: pengisian (0,25 jam), aerasi-reaksi (variabel), pengendapan (1,25 jam), dekantasi (0,25 jam) dan pembuangan lumpur (0,25 jam). Dengan konsentrasi MLSS sebesar 4000 mg/L untuk masing-

masing HRT 12 jam, 24 jam dan 48 jam memiliki prosentase removal sebesar 79,9%; 83,9% dan 83,9% (Elmolla *et al*, 2012).

Digunakan sistem *Sequencing Batch Bioreactor* (SBB) yang merupakan salah satu modifikasi dari sistem lumpur aktif. Bioreaktor yang digunakan memiliki kapasitas volume kerja sebesar 6 liter. Lumpur aktif dimasukkan sebanyak 1,5 liter, kemudian diisi dengan air limbah hingga mencapai volume kerja. Waktu detensi untuk satu siklusnya adalah 12 jam dengan SRT selama 20 hari. Dengan variable tetap berupa waktu pengendapan selama 6 jam dan waktu dekantasi selama 1 jam. Rasio waktu aerob : anaerob adalah 3 : 6 jam/jam. Air limbah yang diolah adalah limbah cair pangan dengan kandungan COD rata-rata 9056 mg/L. Penyisihan COD maksimum yang dapat dilakukan pada penelitian ini adalah sebesar 88,69%. (Handayani *et al*, 2009).

SBR skala penuh dioperasikan secara *fill-draw* dengan rasio *volumetric exchange* sebesar 50-70%. Terdapat 4 tangki dengan masing-masing volume 12.540 m³, panjang 55 m, lebar 38 m dan kedalaman 6 m. Setelah inokulasi, masing-masing siklus terdiri dari 40 menit pengisian, 240 menit aerasi, 60 menit pengendapan dan 30 menit pengeluaran effluen. Setelah 60 bulan pengoperasian, waktu pengendapan diturunkan menjadi 50 menit. Efisiensi penyisihan COD rata-rata stabil pada angka 88%. Pada skala laboratorium, penelitian ini memiliki efisiensi penyisihan COD sebesar 87,5%. SBR tipe kolom digunakan pada skala laboratorium dengan volume kerja 5 L dan rasio *volumetric exchange* sebesar 50%. Dengan siklus pengoperasian selama 4 jam yang terdiri dari 1 menit pengisian, 120 menit aerasi, 60 menit pengendapan, 20 menit pengeluaran effluen dan 39 menit pengeluaran lumpur (Li *et al*, 2014).

Reaktor *air lift* dioperasikan dengan volume 5 liter dengan total HRT selama 8 jam yang terdiri dari total siklus 4 jam, dimana 5 menit untuk pengisian, 215-225 menit aerasi, 5-15 menit pengisian influen dan 5 menit decanting. *Organic loading rate* (OLR) yang digunakan adalah 2,5 kg COD/m³.hari. SBARs ini dioperasikan selama 17 hari, dan didapatkan efisiensi penyisihan COD sebesar kurang lebih 90% (Koh *et al*, 2009).

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Gambaran Umum

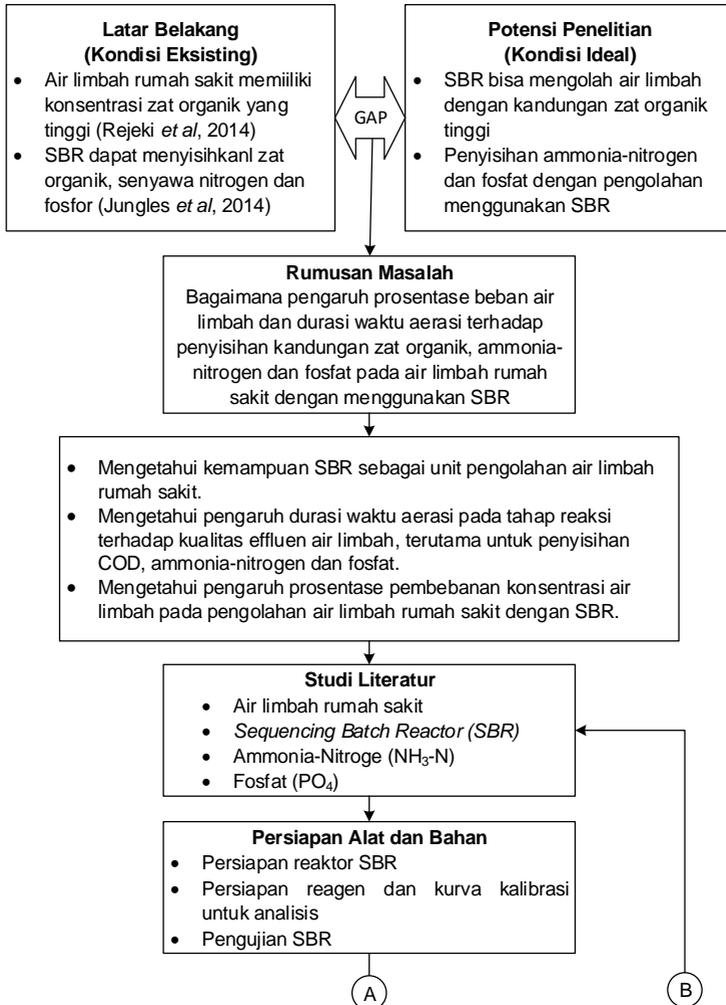
Pada penelitian ini dilakukan analisis mengenai pengaruh durasi waktu aerasi dan prosentase pembebanan konsentrasi air limbah terhadap efisiensi penyisihan zat organik, ammonia-nitrogen dan fosfat menggunakan SBR. Untuk penyisihan zat organik dilakukan analisis terhadap parameter konsentrasi COD.

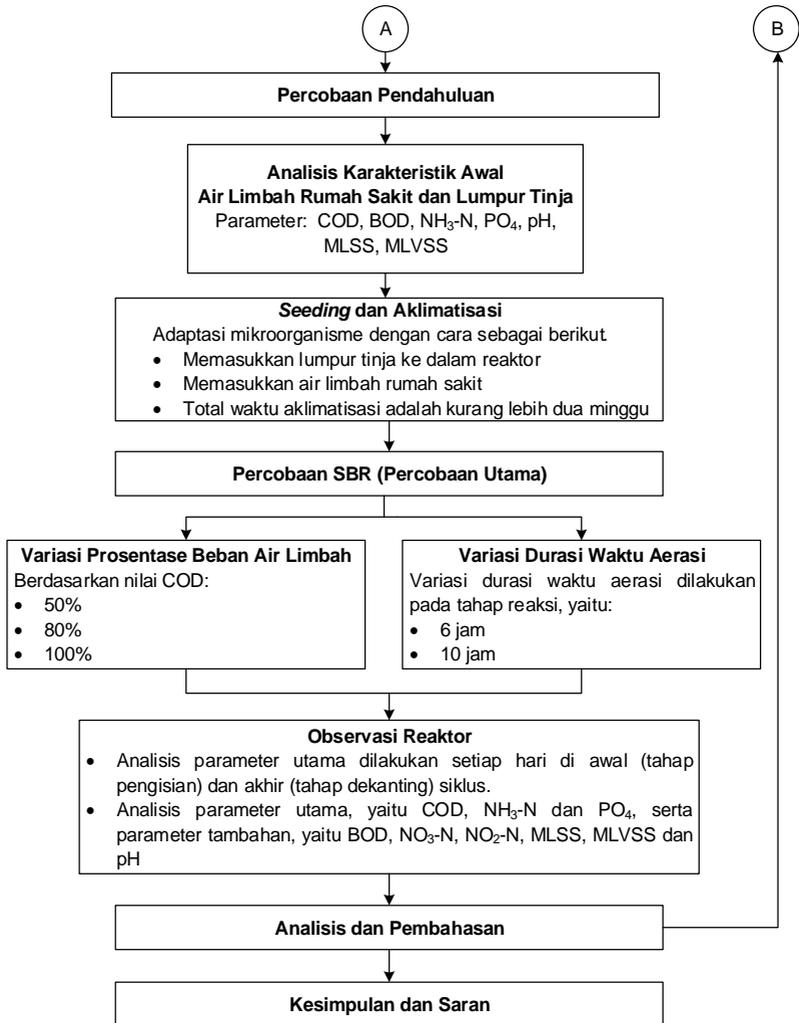
Dilakukan persiapan untuk percobaan utama, yaitu proses *seeding* dan aklimatisasi lumpur yang akan digunakan sebagai sumber mikroorganisme dalam pengolahan menggunakan unit SBR ini. Dilakukan persiapan untuk lumpur aktif yang akan digunakan. Lumpur aktif yang akan digunakan berasal dari instalasi pengolahan lumpur tinja (IPLT) Keputih, Surabaya. Konsentrasi MLSS yang digunakan pada percobaan ini yaitu sebesar 4000 mg/L (Wang *et al*, 2009). Setelah didapatkan konsentrasi MLSS yang diinginkan, maka langkah selanjutnya adalah proses aklimatisasi. Proses aklimatisasi dilakukan dengan menggunakan air limbah rumah sakit yang diaerasi selama kurang lebih dua minggu.

Setelah dicapai kondisi yang *steady state*, maka selanjutnya akan dilakukan percobaan utama. Percobaan utama dilakukan dengan melakukan variasi pada prosentase beban air limbah yang akan digunakan, yaitu sebesar 50%, 80% dan 100%. Selain itu juga dilakukan variasi terhadap durasi waktu aerasi pada tahap reaksi, yaitu selama 6 jam dan 10 jam. Keseluruhan waktu detensi untuk satu kali siklus pada waktu aerasi 6 jam dan 10 jam masing-masing adalah 8 jam dan 12 jam. Dilakukan analisis pada effluen air limbah dan endapan yang terbentuk untuk berbagai parameter yang telah ditetapkan.

3.2 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian berisi tentang garis besar metode yang diperlukan untuk menggambarkan pelaksanaan penelitian. Kerangka penelitian penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



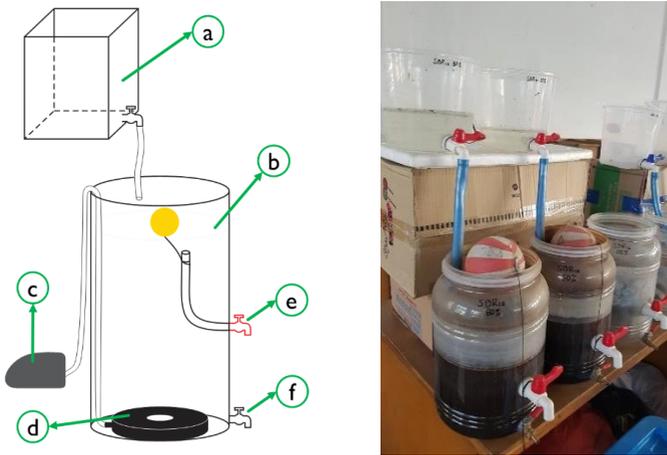


Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Ilustrasi dan gambar foto dari alat-alat yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3. 2 Alat-alat Penelitian

- a. Bak Influen Air Limbah
Bak influen air limbah yang digunakan berbahan plastik dengan kapasitas volume minimal sebesar 3 liter. Bak influen ini dilengkapi dengan lubang kran pada bagian bawah, yang dapat diatur besar bukaannya untuk mencapai debit influen yang diinginkan. Bak influen yang digunakan adalah sebanyak satu bak untuk masing-masing reaktor.
- b. Reaktor
Reaktor yang digunakan pada penelitian ini terbuat dari bahan plastik dengan dimensi diameter dalam reaktor sebesar 20 cm dan tinggi reaktor sebesar 33 cm.

Kapasitas total volume reaktor adalah 10 liter, dengan volume efektif operasional sebesar 6 liter untuk penelitian ini. Reaktor yang digunakan pada penelitian ini adalah sebanyak 6 buah untuk masing-masing variasi prosentase beban konsentrasi air limbah dan variasi durasi waktu aerasi. Reaktor tersebut digunakan untuk proses aklimatisasi dan percobaan utama SBR. Reaktor yang digunakan juga dilengkapi lubang kran untuk effluen supernatan (e), serta lubang kran untuk effluen lumpur (f).

- c. *Pompa Udara (Aerator)*
Pompa udara memiliki fungsi untuk menyuplai udara ke dalam reaktor yang bertujuan untuk proses aerasi. Udara yang disuplai ke dalam reaktor memiliki kandungan oksigen yang akan berperan untuk menciptakan kondisi aerobik. Pompa udara yang digunakan pada penelitian kali ini memiliki debit suplai udara maksimal sebesar 3,5 L/menit.
- d. *Diffuser Udara*
Diffuser udara memiliki fungsi untuk mendistribusikan udara ke dalam air limbah yang diaerasi di dalam reaktor. Sehingga suplai udara yang diinjeksikan dapat tercampur secara merata dengan air limbah yang sedang diuji di dalam reaktor. Proses yang diharapkan terjadi dengan adanya *diffuser* ini adalah terjadinya proses *mixing* (pencampuran) yang sempurna.
- e. *Glassware*
Berbagai jenis *glassware* digunakan untuk keperluan analisis parameter utama maupun parameter tambahan. Selain itu juga digunakan pada beberapa kegiatan selama proses *seeding* dan aklimatisasi hingga operasional.

3.3.2 Bahan

- a. *Lumpur Aktif IPLT*
Lumpur aktif yang digunakan pada penelitian ini diambil dari RAS (*Return Activated Sludge*) unit *Clarifier* IPLT

Keputih, Sukolilo – Surabaya. Terdapat kandungan berbagai jenis mikroorganisme di dalam lumpur aktif IPLT tersebut yang nantinya akan digunakan untuk menyingkahkan berbagai bahan pencemar yang terkandung di dalam air limbah rumah sakit. Lumpur aktif yang diambil merupakan lumpur aktif IPLT kental dengan nilai konsentrasi MLSS yang cukup tinggi.

b. Air Limbah Rumah Sakit

Air limbah rumah sakit yang digunakan diperoleh dari Rumah Sakit Dr. Soetomo, Surabaya. Air limbah rumah sakit yang diteliti berupa air limbah dari berbagai kegiatan di rumah sakit tersebut. Digunakan air limbah yang akan masuk sebagai influen ke unit IPAL rumah sakit. Yaitu influen air limbah yang berasal dari IPAL lokal Gedung Pusat Diagnostik Terpadu (GPDT) Rumah Sakit Dr. Soetomo. Frekuensi pengambilan sampel air limbah rumah sakit yang akan digunakan sebagai influen pada penelitian ini yaitu setiap dua hari sekali. Hal tersebut bertujuan untuk menjaga kualitas air limbah yang akan digunakan agar konsentrasi bahan pencemar tidak mengalami degradasi yang signifikan.

3.4 Tahapan Penelitian

3.4.1 Percobaan Pendahuluan

Percobaan pendahuluan yang dilakukan adalah analisis karakteristik awal air limbah rumah sakit dan lumpur, serta proses *seeding* dan aklimatisasi terhadap mikroorganisme di dalam lumpur aktif IPLT yang akan digunakan.

a. Analisis karakteristik awal

Analisis karakteristik awal yang dilakukan adalah analisis karakteristik awal air limbah rumah sakit dan lumpur aktif IPLT yang akan digunakan dalam penelitian. Analisis karakteristik awal pada air limbah rumah sakit bertujuan untuk mengetahui kandungan COD, BOD, NH₃-N, PO₄ dan pH yang terkandung di dalam air limbah rumah sakit.

Sehingga dapat diketahui perbandingan konsentrasi yang terdapat di dalam air limbah rumah sakit.

Durasi waktu yang digunakan pada analisis karakteristik awal air limbah ini adalah selama tujuh hari, yaitu pada hari kerja dan hari libur rumah sakit. Sehingga hasil yang didapatkan dapat mewakili karakteristik air limbah rumah sakit yang dihasilkan setiap hari. Setiap hari akan dilakukan pengambilan sampel air limbah rumah sakit dan langsung diuji untuk setiap parameter yang telah ditentukan. Dari hasil yang didapatkan selama tujuh hari tersebut, akan diambil rata-rata nilai konsentrasi setiap parameternya. Nilai rata-rata tersebut akan ditetapkan sebagai karakteristik air limbah rumah sakit yang akan dianalisis pada penelitian ini.

Sedangkan analisis karakteristik awal lumpur aktif IPLT dilakukan untuk mengetahui besarnya konsentrasi MLSS dan MLVSS yang terkandung di dalamnya. Sehingga proses *seeding* dapat dilakukan untuk mencapai nilai MLSS yang diinginkan. Selain itu juga bertujuan untuk mengetahui perbandingan berapa banyak campuran antara air limbah rumah sakit dengan lumpur aktif IPLT yang akan diolah di dalam reaktor.

b. *Seeding*

Pada tahap *seeding* ini dilakukan pemberian makanan kepada mikroorganisme agar nilai MLSS yang diinginkan sebagai parameter pengoperasian SBR dapat tercapai. Nilai MLSS yang akan digunakan pada penelitian utama dengan menggunakan reaktor adalah sebesar 4000 mg/L. Menurut Indriani (2010), nilai MLSS pada lumpur aktif IPLT Keputih yang berasal dari RAS (*Return Activated Sludge*) unit *Clarifier* adalah sebesar 28000 mg/L (Aljumriana, 2015). Karena nilai MLSS yang terkandung di dalam lumpur aktif IPLT tersebut sangat tinggi, maka dilakukan pengenceran untuk mencapai nilai MLSS yang diinginkan.

Pengenceran dilakukan secara bertahap, yaitu dengan menurunkan konsentrasi MLSS lumpur aktif IPLT sedikit demi sedikit hingga mencapai nilai MLSS sebesar 4000 mg/L. Hal tersebut bertujuan untuk menghindari terjadinya *shock loading*.

c. Aklimatisasi

Proses ini bertujuan untuk mengadaptasi mikroorganisme terhadap kondisi air limbah yang akan diolah oleh mikroorganisme tersebut, dalam hal ini digunakan air limbah rumah sakit. Sehingga mikroorganisme tersebut bisa hidup dan menyesuaikan diri dengan kondisi air limbah yang akan digunakan dan bisa melakukan proses degradasi secara optimal.

Proses aklimatisasi dilakukan dengan menggunakan air limbah rumah sakit. Proses ini dilakukan dengan cara melakukan aerasi pada air limbah rumah sakit dan lumpur aktif IPLT yang dicampur di dalam reaktor. Volume lumpur yang dimasukkan ke dalam reaktor adalah sebanyak 3 liter, dan ditambahkan air limbah rumah sakit hingga volume total mencapai 6 liter. Dilakukan proses aerasi selama kurang lebih 2 minggu. Pada minggu pertama digunakan air limbah rumah sakit dengan beban konsentrasi sebesar 50%. Setelah didapatkan nilai efisiensi penurunan COD yang stabil, maka konsentrasi air limbah ditingkatkan menjadi 100%. Pada proses aklimatisasi ini parameter yang diuji hanya parameter COD saja, hingga tercapai efisiensi penyisihan COD sebesar 80% (Chen *et al*, 2008)

3.4.2 Penelitian Utama

Pada penelitian utama ini akan dilakukan penelitian dengan menggunakan SBR sistem *intermittent*. Dimana penelitian SBR ini dikondisikan pada kondisi aerobik selama tahap reaksi. Digunakan lumpur aktif IPLT sebagai sumber mikroorganisme yang akan membantu pembentukan lumpur aktif. Air limbah yang akan diolah merupakan air limbah rumah sakit.

Penelitian dilakukan dengan variasi beban prosentase air limbah dan variasi durasi waktu aerasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan SBR dalam menyisihkan kandungan zat organik, ammonia-nitrogen dan fosfat. Tahapan yang dilakukan pada percobaan utama ini adalah sesuai dengan tahapan-tahapan pada SBR. Yaitu terdapat tahap *fill* (pengisian), *react* (reaksi), *settle* (pengendapan), *draw/decant* (dekantasi) dan *idle* (pembuangan lumpur).

Pada tahap pengisian, dimasukkan air limbah rumah sakit ke dalam reaktor yang berisi 3 liter lumpur aktif hasil dari proses aklimatisasi. Air limbah rumah sakit dimasukkan hingga mencapai volume operasional, yaitu sebesar 6 liter (Handayani, 2009). Tahap pengisian pada penelitian ini digunakan sistem *static fill*, yaitu pengisian tanpa adanya proses aerasi maupun pencampuran (*mixing*). Pengisian dilakukan secara berkelanjutan setiap setelah akhir siklus dengan menambahkan air limbah rumah sakit sebanyak air limbah yang terdekantasi. Kemudian tahap reaksi yang berupa proses aerasi dilakukan berdasarkan variasi durasi yang telah ditetapkan, yaitu selama 6 jam dan 10 jam, dan kemudian diikuti dengan proses pengendapan. Setelah padatan terendapkan dan terpisah dengan supernatannya, maka supernatan tersebut didekantasi atau dikeluarkan dari reaktor sebagai hasil effluen pengolahan. Pada tahap pembuangan lumpur, sejumlah lumpur dikeluarkan di akhir tahap aerasi sebanyak 10 ml untuk keperluan analisis MLSS dan MLVSS.

Durasi waktu pengisian, waktu pengendapan, dan waktu dekantasi merupakan variabel tetap. Waktu pengisian dilakukan selama 0,25 jam, waktu pengendapan selama 1,5 jam dan waktu dekantasi selama 0,25 jam (Elmolla *et al*, 2012). Sedangkan tahap pembuangan lumpur dilakukan di antara tahap reaksi dan tahap pengendapan. Sehingga dengan variabel tetap tersebut didapatkan waktu detensi (HRT) untuk satu siklus pada masing-masing variasi waktu aerasi 6 jam dan 10 jam, yaitu 8 jam dan 12 jam. Penelitian ini dilakukan selama 7 hari untuk masing-masing variasi waktu aerasi. Total siklus untuk masing-masing variasi waktu aerasi 6 jam dan 10 jam adalah 21 siklus dan 14 siklus. Penelitian untuk variasi waktu aerasi selama 6 jam dan 10 jam

pada setiap variasi beban konsentrasi air limbah dilakukan pada waktu yang bersamaan. Variasi prosentase beban konsentrasi air limbah yang digunakan adalah sebesar 50%, 80% dan 100%.

Pada penelitian ini, reaktor dengan prosentase beban konsentrasi air limbah 100% selanjutnya akan disebut dengan R 100. Sedangkan reaktor dengan prosentase beban konsentrasi air limbah 80% selanjutnya akan disebut dengan R 80, dan reaktor dengan prosentase beban air limbah 50% akan disebut dengan R 50. Untuk masing-masing reaktor dengan variasi waktu aerasi selama 6 jam, maka akan ditambahkan angka 6 pada akhir setiap sebutan reaktornya, yaitu R 100-6, R 80-6 dan R 50-6. Sedangkan untuk variasi waktu aerasi selama 10 jam, maka pada setiap reaktor akan disebut dengan R 100-10, R 80-10 dan R 50-10. Sebutan pada setiap reaktor untuk masing-masing variasi durasi waktu aerasi dan prosentase beban konsentrasi air limbah bisa dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 Variasi Durasi Waktu Aerasi dan Beban Air Limbah

Durasi Waktu Aerasi	Prosentase Beban Konsentrasi Air Limbah		
	100% (R 100)	80% (R 80)	50% (R 50)
6 jam	R 100-6	R 80-6	R 50-6
10 jam	R 100-10	R 80-10	R 50-10

Dilakukan analisis parameter pada effluen air limbah yang terdekantasi pada percobaan utama ini. Untuk analisis COD, ammonia-nitrogen dan fosfat dilakukan setiap hari pada tahap awal sebelum proses aerasi dan tahap akhir siklus pada effluen air limbah yang terdekantasi. Kadar COD, ammonia-nitrogen dan fosfat dianalisis untuk mengetahui efisiensi penyisihan pada pengolahan menggunakan SBR ini. Selain itu juga dilakukan analisis pada parameter tambahan berupa analisis BOD, nitrat-nitrogen, nitrit-nitrogen, MLSS, MLVSS dan pH. Analisis parameter tambahan dilakukan setiap dua hari sekali untuk BOD, MLSS dan MLVSS. Sedangkan nitrat-nitrogen dan nitrit-nitrogen dianalisis

pada awal dan akhir siklus. Untuk pH dianalisis setiap hari sebagai salah satu parameter lingkungan yang harus dipantau selama masa operasional.

3.4.3 Analisis Parameter

Berbagai parameter kualitas air limbah yang akan dianalisis pada influen, selama proses pengolahan serta effluen di dalam periode operasional penelitian ini meliputi:

- a. *Chemical Oxygen Demand* (COD)
Pengukuran COD menyatakan banyaknya zat organik di dalam sampel yang dapat dioksidasi secara kimiawi dengan menggunakan oksidator $K_2Cr_2O_7$. Proses oksidasi dilakukan dalam kondisi suhu tinggi dan keadaan asam. Digunakan perak sulfat sebagai katalisator. Sisa $K_2Cr_2O_7$ digunakan untuk menentukan jumlah oksigen yang telah terpakai, nilai tersebut ditentukan dengan titrasi ferro ammonium sulfat (FAS). Digunakan indikator ferroin untuk memudahkan dalam menentukan titik akhir titrasi.
- b. Ammonia-Nitrogen (NH_3-N)
Metode yang digunakan dalam analisis ini adalah *Nesslerization Method*. Metode ini menggunakan spektrofotometer visual untuk membaca nilai absorbansi pada sampel yang telah diberi reagen tertentu. Pada analisis ini akan didapatkan konsentrasi ammonia-nitrogen yang terkandung di dalam sampel uji. Sehingga dari nilai konsentrasi tersebut, dapat diketahui bagaimana proses nitrifikasi dan denitrifikasi yang terjadi selama proses operasional. Pada penelitian ini, kurva kalibrasi harus dibuat terlebih dahulu sebelum dilakukan pembacaan pada spektrofotometer untuk besarnya konsentrasi ammonia-nitrogen pada sampel.
- c. Fosfat
Analisis fosfat ini dilakukan dengan menggunakan metode spektrofotometri yang merupakan suatu metode analisis yang didasarkan pada pengukuran serapan sinar

monokromatis oleh lajur berwarna pada panjang gelombang spesifik dengan menggunakan monokromator prisma. Tujuan metode ini adalah untuk menetapkan kadar total fosfat dalam air limbah dengan menggunakan persulfate dan asam sulfat sebagai larutan pendestruksi.

- d. *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*
Pengukuran BOD dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui tingkat biodegradasi dari zat organik yang terkandung di dalam sampel secara biologis. Analisis BOD menggunakan prinsip winkler, yaitu reaksi oksidasi zat organik dengan oksigen yang terkandung di dalam sampel oleh mikroorganisme. Sehingga zat organik yang terdegradasi merupakan zat organik *biodegradable*.
- e. Nitrat-Nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$)
Nitrat-nitrogen dianalisis menggunakan metode spektrofotometri. Analisis ini menggunakan reagen *Brucine Acetate* dan dilakukan pembacaan nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer visual. Sebelum melakukan pembacaan konsentrasi nitrat-nitrogen, perlu dibuat kurva kalibrasi terlebih dahulu.
- f. Nitrit-Nitrogen ($\text{NO}_2\text{-N}$)
Nitrit-nitrogen dianalisis menggunakan metode spektrofotometri dengan reagen NED dan sulfonamide yang kemudian dilakukan pembacaan nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer visual.
- g. *Mixed Liquor Suspended Solid (MLSS)*
Metode yang digunakan untuk analisis ini adalah metode gravimetri. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui kuantitas padatan tersuspensi yang terkandung dalam suatu larutan. Sehingga bisa digunakan sebagai indikator yang menunjukkan jumlah mikroba di dalam lumpur. Analisis ini dilakukan dengan cara menyaring air limbah maupun lumpur dan dikeringkan hingga didapatkan berat keringnya.

- h. *Mixed Liquor Volatile Suspended Solid (MLVSS)*
Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kecukupan biomassa atau pertumbuhan biomassa. Analisis MLVSS dilakukan dengan menggunakan metode gravimetri. Analisis gravimetri adalah suatu teknik analisis kuantitatif yang didasarkan pada pengukuran massa. Hal ini melalui pengendapan, penyaringan, pencucian endapan, pengeringan dan penimbangan.

- i. Derajat keasaman (pH) dan suhu
Pengukuran pH dan suhu dilakukan dengan alat ukur pH-suhu. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kondisi lingkungan di dalam reaktor serta sejauh mana perubahannya. Dalam hal ini pH merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja reaktor yang berhubungan dengan aktivitas mikroorganisme.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Karakteristik Awal

4.1.1 Analisis Karakteristik Air Limbah Rumah Sakit

Analisis karakteristik awal air limbah rumah sakit pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan air limbah dari Rumah Sakit Dr. Soetomo Surabaya, tepatnya pada IPAL lokal gedung GPDT. Tujuan analisis karakteristik awal air limbah rumah sakit ini adalah untuk mengetahui besarnya rata-rata nilai konsentrasi dari berbagai parameter yang akan diuji pada air limbah tersebut. Dari hasil analisis karakteristik awal air limbah yang didapatkan, maka dapat ditentukan besarnya berbagai variasi pembebanan konsentrasi yang akan diuji pada percobaan utama. Parameter yang diuji pada analisis karakteristik awal air limbah ini adalah konsentrasi COD, BOD, ammonia-nitrogen, fosfat dan pH yang terkandung di dalam sampel air limbah rumah sakit.

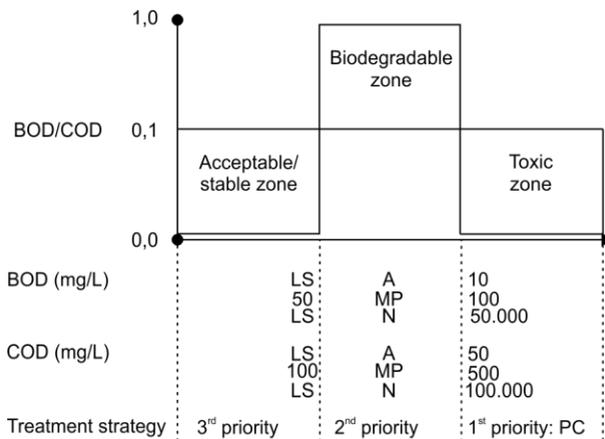
Selain itu, karakteristik awal air limbah rumah sakit yang didapatkan juga akan digunakan untuk menentukan variasi durasi aerasi pada penelitian kali ini. Variasi durasi aerasi tersebut ditentukan berdasarkan durasi siklus melalui perhitungan *Volumetric Loading*. Perhitungan nilai *Volumetric Loading* pada penelitian ini didasarkan pada kriteria desain, yaitu antara 0,1 kg BOD/m³.hari hingga 0,3 kg BOD/m³.hari (Wang *et al*, 2009). Perhitungan *Volumetric Loading* untuk setiap variasi waktu aerasi berdasarkan durasi setiap siklusnya dapat dilihat pada lampiran B.

Analisis karakteristik awal air limbah rumah sakit dilakukan selama kurang lebih tujuh hari, pada hari kerja dan hari libur rumah sakit agar hasil yang didapatkan merupakan hasil yang representatif. Nilai rata-rata yang didapatkan merupakan nilai karakteristik awal air limbah rumah sakit yang digunakan pada penelitian kali ini, dan karakteristik awal air limbah rumah sakit tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Analisis Karakteristik Air Limbah Rumah Sakit

Parameter	Nilai	Satuan
COD	385,30	mg/L
BOD	204,61	mg/L
Ammonia (NH ₃ -N)	58,18	mg/L
Fosfat (PO ₄)	11,86	mg/L
BOD/COD	0,53	-
pH	8,00	-

Dari hasil analisis di atas diketahui bahwa rasio BOD : COD yang terkandung di dalam air limbah rumah sakit adalah sebesar 0,53. Dari perbandingan rasio tersebut diketahui bahwa air limbah Rumah Sakit Dr. Soetomo yang digunakan pada penelitian kali ini dapat diolah secara biologis. Karena pengolahan secara biologis dapat dilakukan pada kondisi *biodegradable*.



Legend: LS= local standard value; A= aquaculture treatment, MP= microbial and phytotreatment; N= natural treatment, PC= physical or chemical treatment

Gambar 4. 1 *Triangle Zone* untuk Rasio BOD/COD

Sumber: Samudro dan Mangkoediharjo, 2010

Kondisi *biodegradable* berada pada rasio BOD/COD berkisar antara 0,1 hingga 1,0. Pada Gambar 4.1 dapat dilihat pembagian zona untuk rasio BOD/COD. Zona *biodegradable* merupakan nilai batasan dimana material organik masih bisa untuk didekomposisi oleh mikroorganisme. Zona *biodegradable* ini dibagi menjadi beberapa tingkatan, yaitu tingkat *biodegradable* rendah, sedang dan tinggi. Pembagian tingkatan tersebut masih membutuhkan penelitian lanjutan (Samudro dan Mangkoediharjo, 2010).

4.1.2 Analisis Karakteristik Lumpur Aktif IPLT

Analisis karakteristik awal lumpur aktif IPLT dilakukan untuk mengetahui jumlah biomassa yang terkandung di dalam lumpur aktif IPLT. Dari jumlah biomassa tersebut maka dapat ditentukan rasio perbandingan campuran antara lumpur aktif IPLT dengan air limbah rumah sakit yang digunakan.

Parameter yang diuji pada analisis karakteristik awal lumpur aktif IPLT ini adalah MLSS dan MLVSS. Nilai MLSS yang digunakan pada penelitian kali ini adalah sebesar 4000 mg/L, sesuai dengan kriteria desain yang berkisar antara 2000-5000 mg/L (Metcalf dan Eddy, 2003). Hasil analisis karakteristik awal lumpur aktif IPLT dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 2 Analisis Karakteristik Lumpur Aktif IPLT

Parameter	Nilai	Satuan
MLSS	20.500	mg/L
MLVSS	17.800	mg/L

4.2 Seeding dan Aklimatisasi

Proses aklimatisasi dilakukan dengan cara melakukan aerasi penuh selama kurang lebih 2 minggu. Aerasi dilakukan pada campuran lumpur aktif IPLT dan air limbah rumah sakit dengan rasio sebesar 1 : 1. Proses aklimatisasi ini dilakukan hingga kondisi *steady state*, yang mengindikasikan bahwa mikroorganisme pada lumpur aktif IPLT sudah dapat beradaptasi dengan air limbah

rumah sakit. Parameter yang akan diuji selama proses aklimatisasi ini adalah konsentrasi nilai COD dan MLSS.

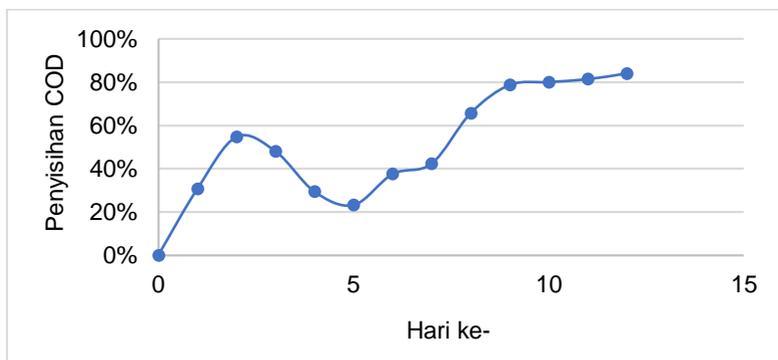
Pada akhir masa aklimatisasi, prosentase penyisihan nilai COD yang didapatkan adalah sebesar 84% dengan nilai COD akhir sebesar 46,15 mg/L. Sehingga dapat dikatakan bahwa kondisi *steady state* telah tercapai. Hasil nilai konsentrasi COD selama proses aklimatisasi dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4. 3 Nilai COD Proses *Seeding* dan Aklimatisasi

No	Hari ke-	Nilai Konsentrasi COD	Satuan
1.	0	288,46	mg/L
2.	1	200,00	mg/L
3.	2	130,77	mg/L
4.	3	150,00	mg/L
5.	4	203,85	mg/L
6.	5	221,60	mg/L
7.	6	180,28	mg/L
8.	7	166,34	mg/L
9.	8	99,01	mg/L
10.	9	61,54	mg/L
11.	10	57,69	mg/L
12.	11	53,85	mg/L
13.	12	46,15	mg/L

Selama proses aklimatisasi minggu pertama, nilai COD mengalami perubahan secara fluktuatif. Nilai COD mengalami peningkatan pada hari ke-3 hingga hari ke-5. Hal tersebut menunjukkan bahwa mikroorganisme belum bisa beradaptasi dengan air limbah rumah

sakit yang akan diolah. Pada hari ke-6 hingga ke-12 selama proses aklimatisasi, hasil uji nilai COD menunjukkan adanya penurunan secara bertahap hingga akhir masa aklimatisasi. Efisiensi penyisihan nilai COD proses *seeding* dan aklimatisasi dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4. 2 Efisiensi Penyisihan COD Proses *Seeding* dan Aklimatisasi

Dari gambar grafik di atas, dapat dilihat bahwa pada hari ke-9 hingga hari ke-12 penurunan nilai COD sudah mulai stabil dan tidak ada perubahan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa mikroorganisme sudah beradaptasi dengan air limbah rumah sakit dan siap untuk digunakan pada percobaan utama.

Selain melakukan uji pada nilai COD, selama proses aklimatisasi juga dilakukan uji pada nilai MLSS. Tujuan dilakukannya uji nilai MLSS ini adalah untuk menjaga jumlah biomassa selama proses aklimatisasi berlangsung. Hasil uji nilai MLSS selama proses aklimatisasi berlangsung dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Berdasarkan Tabel 4.4, pada hari ke-5 nilai MLSS menunjukkan adanya penurunan yang signifikan. Hal tersebut mengindikasikan bahwa mikroorganisme yang terdapat di dalam lumpur belum bisa beradaptasi dengan air limbah yang akan diolah, sehingga menyebabkan kematian terhadap mikroorganisme yang tidak bisa bertahan hidup (Mulyani *et al*, 2012).

Tabel 4. 4 Nilai MLSS Proses *Seeding* dan Aklimatisasi

No	Hari ke-	Nilai Konsentrasi MLSS	Satuan
1.	0	9.600	mg/L
2.	1	9.300	mg/L
3.	2	9.300	mg/L
4.	3	9.200	mg/L
5.	4	9.300	mg/L
6.	5	3.800	mg/L
7.	6	6.600	mg/L
8.	7	8.200	mg/L
9.	8	8.300	mg/L
10.	9	8.300	mg/L
11.	10	8.400	mg/L
12.	11	8.300	mg/L
13.	12	8.400	mg/L

Penurunan kadar MLSS pada hari ke-5 diiringi pula dengan peningkatan kadar COD seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.3. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kematian mikroorganisme lebih tinggi dibandingkan tingkat pertumbuhannya. Kadar nilai COD dapat meningkat akibat terjadinya lisis pada mikroorganisme yang telah mati sehingga akan meningkatkan kadar COD larutan (Budhi *et al*, 1999).

4.3 Penelitian Utama

Penelitian utama ini menggunakan reaktor dengan kapasitas volume kerja sebesar 6 liter, yang terdiri dari 3 liter lumpur aktif teraklimatisasi dan 3 liter air limbah. Dimana 3 liter lumpur aktif yang teraklimatisasi memiliki nilai MLSS sebesar ± 8000 mg/L, sehingga dilakukan pengenceran sebesar 50% dari total volume kerja, yaitu dengan penambahan 3 liter air limbah untuk mencapai nilai MLSS sebesar 4000 mg/L seperti yang telah ditetapkan untuk penelitian kali ini.

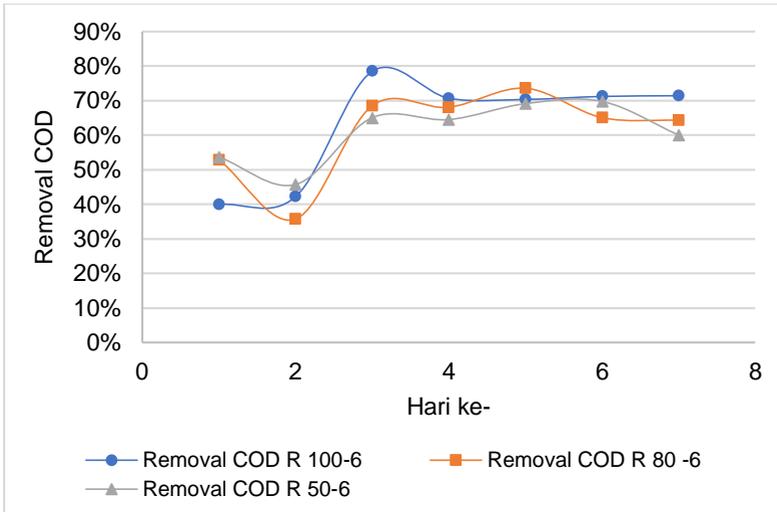
Untuk operasional SBR pada penelitian ini memiliki 5 tahapan, yaitu tahap pengisian, tahap reaksi, tahap pengendapan, tahap dekantasi dan tahap pembuangan lumpur. Pada tahap pengisian dilakukan proses pengisian air limbah ke dalam reaktor sebanyak volume yang terdekantasi, yaitu sebesar 3 liter pada setiap awal siklus.

Percobaan berdasarkan variasi durasi waktu aerasi dan variasi prosentase pembebanan air limbah dilakukan secara bersamaan. Variasi prosentase pembebanan air limbah dilakukan berdasarkan hasil analisis karakteristik awal air limbah yang telah dilakukan, dan ditetapkan variasinya adalah 50%, 80% dan 100% berdasarkan nilai kadar COD. Variasi durasi waktu aerasi adalah 6 jam dan 10 jam untuk masing-masing durasi siklus 8 jam dan 10 jam. Sehingga terdapat 6 reaktor untuk masing-masing kedua variasi tersebut. Reaktor R 100, R 80 dan R 50 adalah reaktor dengan masing-masing prosentase beban air limbah 100%, 80% dan 50%. Reaktor R 100-6, R 80-6 dan R 50-6 adalah reaktor dengan variasi waktu aerasi 6 jam untuk masing-masing prosentase beban air limbah. Sedangkan R 100-10, R 80-10 dan R 50-10 adalah reaktor dengan variasi waktu aerasi 10 jam untuk masing-masing prosentase beban air limbah.

4.3.1 Hasil Penyisihan Konsentrasi COD

Pengujian terhadap parameter COD bertujuan untuk mengetahui besarnya konsentrasi zat organik yang berhasil disisihkan di dalam pengolahan. Analisis parameter COD merupakan salah satu

parameter utama di dalam penelitian ini, dan dilakukan analisis setiap hari terhadap influen air limbah dan hasil effluen pengolahan.



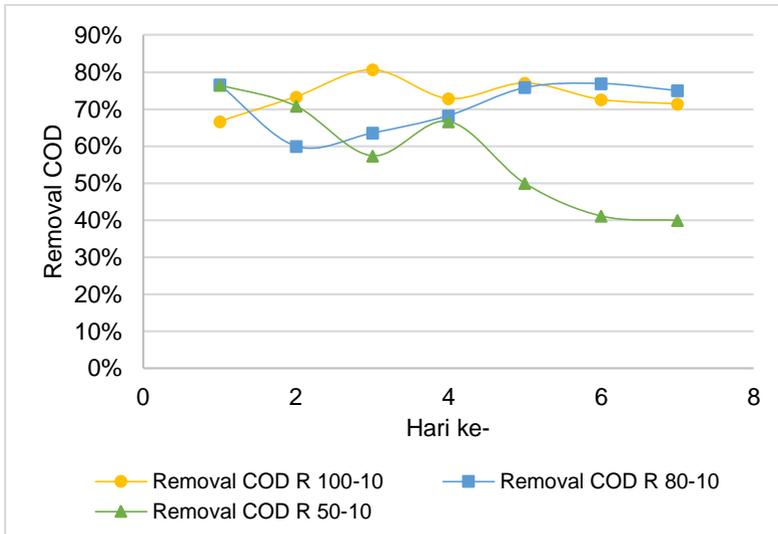
Gambar 4. 3 Efisiensi Penyisihan COD Setiap Prosentase Beban Air Limbah pada Variasi Waktu Aerasi 6 Jam

Sesuai dengan Gambar 4.3, untuk variasi waktu aerasi 6 jam, reaktor dengan prosentase pembebanan air limbah 100% (R 100-6) memiliki efisiensi penyisihan kadar COD tertinggi sebesar 78% yang dicapai pada hari ke-3. Selain itu, penyisihan kadar COD pada reaktor R 100-6 ini juga relatif lebih stabil jika dibandingkan dengan reaktor lainnya. Reaktor dengan prosentase pembebanan air limbah 80% (R 80-6) memiliki efisiensi penyisihan kadar COD tertinggi pada hari ke-5, yaitu sebesar 74%. Akan tetapi pada hari ke-6 dan hari ke-7, efisiensi penyisihan COD mengalami penurunan hingga mencapai efisiensi penyisihan COD sebesar 64% pada hari terakhir. Reaktor dengan prosentase pembebanan air limbah 50% (R 50-6) memiliki efisiensi penyisihan tertinggi sebesar 70% yang dicapai pada hari ke-6. Akan tetapi pada hari

ke-7 efisiensi penyisihan COD R 50-6 mengalami penurunan, yaitu hanya mencapai 60%.

R 50-6 memiliki efisiensi prosentase penyisihan COD yang lebih rendah dibandingkan dua reaktor lainnya. Selain itu tren grafik untuk setiap reaktor pada hari kedua juga mengalami penurunan. Kedua hal tersebut disebabkan karena substrat yang ditambahkan memiliki nilai konsentrasi yang terlalu rendah, sehingga mikroorganisme mengalami kondisi kekurangan substrat. Kondisi tersebut menyebabkan sebagian mikroorganisme tidak dapat bertahan hidup. Mikroorganisme yang tidak dapat bertahan hidup tersebut akan mati dan mengalami lisis, sehingga akan meningkatkan kadar nilai COD kembali. Konsentrasi substrat yang diolah merupakan salah satu faktor penting di dalam pengoalahan biologis. Karena jumlah konsentrasi substrat yang dimasukkan sebagai influen dapat mempengaruhi kehidupan mikroorganisme jika jumlahnya tidak sesuai. Menurut Bailey (1977), konsentrasi substrat yang terlalu tinggi dapat menjadi penghambat bagi pertumbuhan mikroorganisme, bahkan bisa bersifat toksik. Sedangkan konsentrasi substrat yang terlalu rendah dapat menyebabkan mikroorganisme mengalami kondisi kekurangan substrat dan akhirnya mengalami kematian (Indriani, 2006).

Efisiensi penyisihan COD pada variasi waktu aerasi selama 10 jam untuk berbagai prosentase beban air limbah dapat dilihat pada Gambar 4.4. Pada variasi waktu aerasi 10 jam, SBR dengan prosentase beban air limbah 100% (R 100-10) memiliki efisiensi penyisihan kadar COD yang paling tinggi dibandingkan dengan SBR R 80-10 dan R 50-10. Efisiensi penyisihan COD tertinggi pada R 100-10 dicapai pada hari ke-3, yaitu sebesar 81%. Pada R 100-10 juga menunjukkan tren grafik yang lebih stabil jika dibandingkan dengan R 80-10 dan R 50-10. Sedangkan untuk R 80-10 memiliki efisiensi penyisihan COD paling optimal sebesar 77% yang dicapai pada hari ke-1 dan hari ke-6. Pada R 50-10 memiliki efisiensi penyisihan COD yang paling rendah dibanding R 100-10 dan R 80-10, dengan nilai efisiensi penyisihan COD tertingginya yaitu sebesar 76% yang dicapai pada hari ke-1. Nilai efisiensi penyisihan COD terendah dicapai oleh R 50-10 pada hari terakhir selama masa operasional, yaitu sebesar 40%.



Gambar 4. 4 Efisiensi Penyisihan COD Setiap Prosentase Beban Air Limbah pada Variasi Waktu Aerasi 10 Jam

Tren grafik efisiensi penyisihan kadar COD pada R 50-10 cenderung mengalami penurunan hingga akhir masa penelitian. Sama halnya dengan R 50-6, hal tersebut menunjukkan bahwa jumlah substrat yang terkandung di dalam air limbah sangat terbatas untuk dikonsumsi oleh mikroorganisme. Dengan kondisi keterbatasan substrat tersebut, sebagian mikroorganisme yang tidak bisa bertahan hidup akan mati dan mengalami lisis. Mikroorganisme yang mengalami lisis tersebut akan menyebabkan peningkatan pada kadar COD, karena seluruh cairan dan isi sel dari mikroorganisme yang mengalami lisis tersebut akan terbaca sebagai zat organik. Dengan peningkatan kadar zat organik sebagai nilai COD, maka akan mengurangi prosentase efisiensi penyisihan kadar COD. Hasil prosentase efisiensi penyisihan COD untuk setiap reaktor dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Dari Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa rata-rata efisiensi penyisihan COD paling besar adalah pada R100-10, yaitu 74%. Selain itu pada R100-10 juga memiliki nilai efisiensi penyisihan COD tertinggi

Tabel 4. 5 Efisiensi Penyisihan COD Setiap Reaktor

Hari ke-	Efisiensi Penyisihan COD					
	R 100-6	R 80 -6	R 50-6	R 100-10	R 80-10	R 50-10
1	40%	53%	54%	67%	77%	76%
2	42%	36%	46%	73%	60%	71%
3	78%	68%	65%	81%	64%	57%
4	71%	68%	64%	73%	68%	67%
5	70%	74%	69%	77%	76%	50%
6	71%	65%	70%	73%	77%	41%
7	71%	64%	60%	71%	75%	40%
Rata-rata	63%	61%	61%	74%	71%	58%

dibanding semua reaktor lainnya, yaitu sebesar 81%. Sehingga pada penelitian ini hasil pengolahan yang paling optimal dimiliki oleh reaktor dengan durasi waktu aerasi selama 10 jam dengan prosentase pembebanan 100%. Besarnya efisiensi penyisihan COD sebesar 81% untuk air limbah rumah sakit ini juga sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan terlebih dahulu di dalam literatur pengolahan campuran air limbah farmasi dan air limbah domestik menggunakan SBR (Elmolla *et al*, 2012). Selain itu hasil yang kurang lebih sama juga diperlihatkan pada literatur pengolahan air limbah rumah sakit menggunakan MBR, yaitu sebesar 80% untuk efisiensi penyisihan COD (Alrhoun, 2014). Nilai maksimal efisiensi penyisihan COD yang dapat dicapai tersebut juga dipengaruhi oleh adanya bakteri patogen serta zat-zat berbahaya lainnya (Amouei *et al*, 2012).

Reaktor dengan waktu aerasi 10 jam memiliki hasil efisiensi rata-rata penyisihan COD yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan reaktor dengan waktu aerasi selama 6 jam. Hal ini disebabkan oleh adanya periode aerob yang lebih lama untuk waktu aerasi 10 jam,

sehingga mikroorganismenya memiliki waktu lebih lama untuk berkembang, dan dalam perkembangannya mikroorganismenya memerlukan sumber karbon yang berasal dari air limbah. Hal tersebut akan menyebabkan terjadinya proses degradasi air limbah yang lebih besar, sehingga kadar COD effluen yang dikeluarkan semakin kecil dimana efisiensi penyisihan COD semakin besar (Handayani *et al*, 2009).

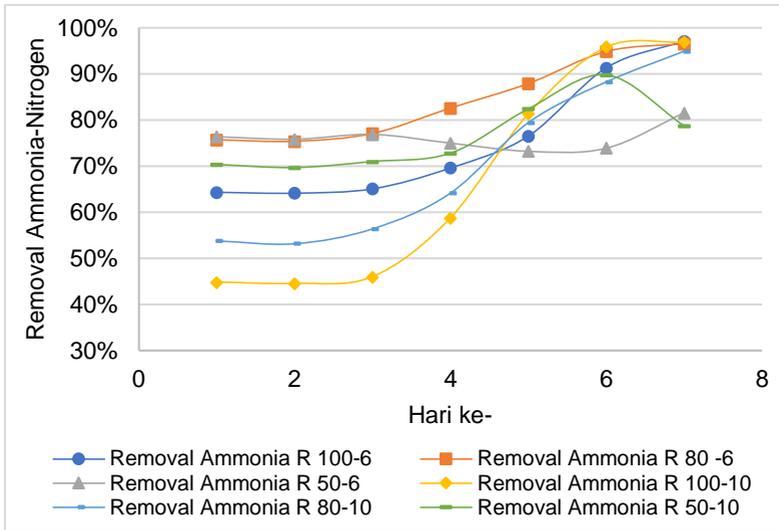


Proses degradasi senyawa organik di dalam air limbah rumah sakit oleh mikroorganismenya akan mengubah senyawa organik tersebut menjadi lebih sederhana, sehingga akan menyebabkan penurunan kadar bahan organik, dalam hal ini diuji melalui nilai kadar COD. Dalam pembentukan sel baru digunakan senyawa buangan organik yang sebagian juga diubah ke dalam bentuk karbondioksida, air dan ammonia (Djaja dan Maniksulistya, 2006).

4.3.2 Hasil Penyisihan Konsentrasi Ammonia-Nitrogen (NH₃-N)

Analisis ammonia-nitrogen merupakan salah satu parameter utama di dalam penelitian ini. Karena salah satu baku mutu yang perlu diperhatikan untuk effluen air limbah rumah sakit terolah terkait dengan kandungan nitrogennya adalah kadar ammonia-nitrogen bebas. Selain itu tingginya kadar ammonia yang terkandung di dalam air limbah rumah sakit menjadi salah satu permasalahan utama rumah sakit dalam mengolah air limbahnya.

Analisis ammonia-nitrogen ini dilakukan setiap hari pada setiap influen air limbah rumah sakit dan effluen hasil pengolahan menggunakan SBR. Metode yang digunakan untuk menganalisis kandungan ammonia-nitrogen adalah *Nesslerization Method* menggunakan alat spektrofotometer melalui pembacaan nilai absorbansinya.



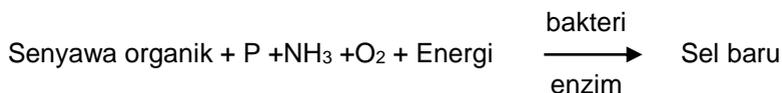
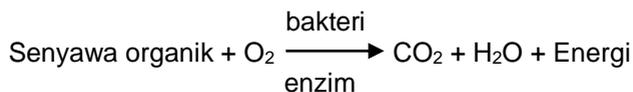
Gambar 4. 5 Efisiensi Penyisihan Ammonia-Nitrogen Setiap Variasi Waktu Aerasi terhadap Prosentase Beban Air Limbah

Pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa besarnya efisiensi penyisihan ammonia-nitrogen pada penelitian ini berkisar antara 45% -97%. Efisiensi penyisihan ammonia-nitrogen tertinggi dicapai pada hari ke-7 dengan nilai efisiensi penyisihan sebesar 97%. Nilai efisiensi penyisihan tertinggi tersebut dicapai oleh R 100-6, R 80-6 dan R100-10. Jika dilihat dari ketiga reaktor tersebut, R 100-10 memiliki tren efisiensi penyisihan ammonia-nitrogen dengan peningkatan yang paling signifikan, yaitu mulai dari 45% pada hari ke-1 dan terus mengalami peningkatan hingga mencapai 97% pada hari ke-7. Selain itu, R 100-10 merupakan reaktor dengan efisiensi penyisihan ammonia-nitrogen terendah yang dicapai pada hari ke-1.

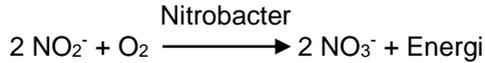
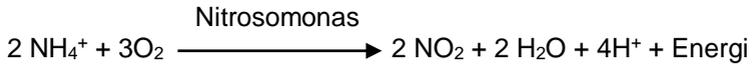
Dapat dilihat bahwa hampir semua reaktor memiliki tren efisiensi penyisihan ammonia-nitrogen yang semakin meningkat setiap harinya. Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor yang dapat mendukung penyisihan ammonia, diantaranya adalah konsentrasi oksigen terlarut, temperatur dan pH. Tetapi pada

reaktor dengan prosentase beban air limbah 50% pada setiap variasi waktu aerasi mengalami penurunan efisiensi penyisihan ammonia-nitrogen pada hari tertentu. Pada R 50-6 efisiensi penyisihan ammonia-nitrogen mengalami sedikit penurunan pada hari ke-5, yaitu hanya mencapai 73%. Sedangkan pada R 50-10 efisiensi penyisihan ammonia-nitrogen mengalami penurunan sebesar 11% pada hari ke-7, yaitu hanya mencapai 79%. Penurunan efisiensi penyisihan ammonia-nitrogen tersebut dapat disebabkan oleh proses degradasi senyawa organik yang kurang stabil, sehingga akan meningkatkan kadar ammonia-nitrogen kembali. Karena di dalam proses degradasi senyawa organik akan dihasilkan salah satu senyawa baru berupa ammonia (Aljumriana, 2015).

Bakteri heterotrof memecah bahan organik seperti karbohidrat, lemak dan protein, hal ini ditandai oleh BOD dan COD dari air limbah. Senyawa ini umumnya mudah terurai sehingga bakteri berkembang dan memiliki tingkat pertumbuhan tinggi. Waktu penggandaan mereka bisa diukur dalam hitungan jam (dan terkadang menit). Dua reaksi dasar untuk oksidasi karbon dapat ditunjukkan sebagai berikut.



Bakteri autotrof menurunkan karbon sel mereka dari CO₂ dan menggunakan sumber energi non-organik untuk pertumbuhan. Bakteri nitrifikasi mengoksidasi amonia (yang ada dalam air limbah atau dihasilkan dari pemecahan protein dan senyawa organik kaya nitrogen lainnya) menjadi nitrit dan nitrat dalam kondisi aerobik. Bakteri ini cenderung tumbuh lebih lambat dari pada bakteri heterotrof. Mereka peka terhadap perubahan lingkungan seperti kandungan beban toksik.



(EPA, 1997)

Proses nitrifikasi dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan termasuk pH, toksisitas, logam-logam dan *unionized ammonia*. Proses nitrifikasi sangatlah sensitif terhadap nilai pH, laju nitrifikasi akan menurun secara signifikan jika pH berada dibawah 6,8. Pada pH antara 5,8 hingga 6, laju nitrifikasi mungkin hanya 10% hingga 20% dari laju nitrifikasi pada pH 7. Sehingga proses nitrifikasi akan berjalan secara optimal pada pH antara 7,5 hingga 8. Organisme nitrifikasi sangat sensitif terhadap berbagai senyawa organik dan inorganik, sehingga menjadikannya sebagai indikator yang baik terhadap keberadaan senyawa organik toksik pada konsentrasi rendah (Kutty *et al*, 2011). Hasil prosentase efisiensi penyisihan ammonia-nitrogen setiap reaktor dapat dilihat pada Tabel 4.6.

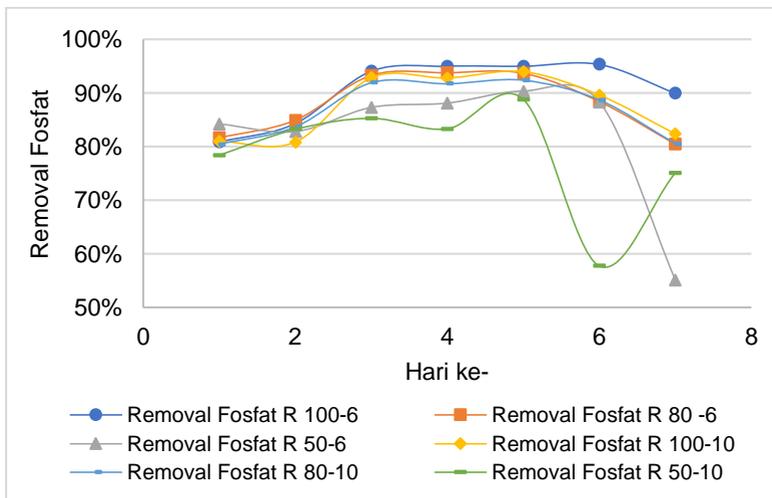
Tabel 4. 6 Efisiensi Penyisihan Ammonia-Nitrogen Setiap Reaktor

Hari ke-	Efisiensi Penyisihan Ammonia-nitrogen					
	R 100-6	R 80 -6	R 50-6	R 100-10	R 80-10	R 50-10
1	64%	76%	76%	45%	54%	70%
2	64%	75%	76%	45%	53%	70%
3	65%	77%	77%	46%	56%	71%
4	70%	83%	75%	59%	64%	73%
5	77%	88%	73%	81%	79%	82%
6	91%	95%	74%	96%	88%	90%
7	97%	97%	82%	97%	95%	79%
Rata-rata	75%	84%	76%	67%	70%	76%

4.3.3 Hasil Penyisihan Konsentrasi Fosfat (PO_4)

Analisis fosfat pada penelitian kali ini merupakan salah satu parameter utama, dimana dilakukan analisis setiap hari pada influen air limbah dan effluen hasil pengolahan untuk mengetahui efisiensi penyisihan fosfat yang terjadi selama proses pengolahan. Metode yang digunakan untuk analisis fosfat pada penelitian ini adalah metode spektrofotometri, yaitu dengan didasarkan pada pengukuran serapan sinar monokromatis.

Senyawa fosfat juga merupakan salah satu senyawa yang dijaga kadarnya agar tidak melebihi baku mutu untuk air limbah rumah sakit sebelum dibuang ke badan air. Jika kadar fosfat yang dibuang masih tinggi, maka dapat menyebabkan eutrofikasi pada badan air. Penyisihan senyawa fosfat dapat dicapai jika terdapat kondisi anaerobic-aerobik. Pada kondisi anaerobik akan terjadi pelepasan fosfat dan penyerapan senyawa fosfat kembali akan terjadi pada kondisi aerobik (Rybicki, 1997). Sebagian kondisi anaerobik



Gambar 4. 6 Efisiensi Penyisihan Fosfat Setiap Variasi Waktu Aerasi terhadap Prosentase Beban Air Limbah

pada penelitian ini dicapai pada tahap pengisian (*static fill*), tahap pengendapan, dan tahap dekantasi.

Dari Gambar 4.6, dapat dilihat tren efisiensi penyisihan fosfat pada penelitian ini. Prosentase efisiensi penyisihan senyawa fosfat tertinggi dapat dicapai pada reaktor dengan waktu aerasi selama 6 jam dan dengan prosentase beban air limbah 100% (R 100-6), yaitu sebesar 95%. Efisiensi penyisihan fosfat tersebut dicapai pada hari ke-4, ke-5 dan ke-6. Kisaran prosentase efisiensi penyisihan fosfat pada penelitian kali ini adalah sebesar 55% hingga 95%. Untuk efisiensi penyisihan terendah, yaitu sebesar 55% terjadi pada reaktor R 50-6 pada hari ke-7, yang mengalami penurunan efisiensi penyisihan fosfat hingga 33%. Penurunan efisiensi penyisihan fosfat yang tergolong signifikan juga terjadi pada R 50-10 pada hari ke-6. Dimana terjadi penurunan efisiensi penyisihan fosfat dari hari sebelumnya sebesar 31%. Nilai efisiensi penyisihan fosfat yang fluktuatif tersebut bisa saja terjadi pada berbagai pengolahan yang berbasis biologis. Karena penyisihan fosfat dengan menggunakan pengolahan biologis sering menunjukkan hasil yang fluktuatif tanpa diketahui alasan pastinya, dan hingga saat ini masih dilakukan penelitian secara intensif mengenai hal tersebut (Sathasivan, 2017). Hasil nilai prosentase efisiensi penyisihan fosfat pada setiap reaktor dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4. 7 Efisiensi Penyisihan Fosfat Setiap Reaktor

Hari ke-	Efisiensi Penyisihan Fosfat					
	R 100-6	R 80 -6	R 50-6	R 100-10	R 80-10	R 50-10
1	81%	82%	84%	81%	80%	78%
2	84%	85%	83%	81%	84%	83%
3	94%	93%	87%	93%	92%	85%
4	95%	94%	88%	93%	92%	83%
5	95%	94%	90%	94%	92%	89%

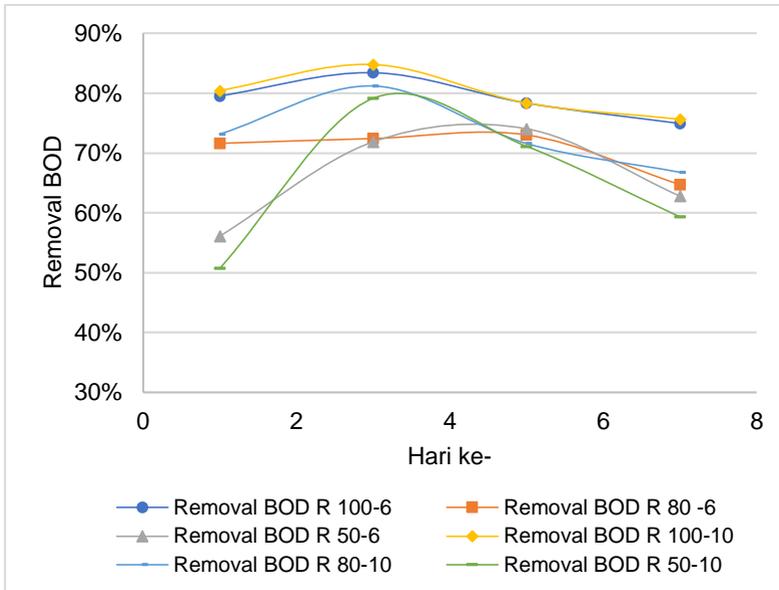
Hari ke-	Efisiensi Penyisihan Fosfat					
	R 100-6	R 80 -6	R 50-6	R 100-10	R 80-10	R 50-10
6	95%	88%	88%	90%	89%	58%
7	90%	81%	55%	82%	81%	75%
Rata-rata	91%	88%	82%	88%	87%	79%

4.3.4 Hasil Penyisihan Konsentrasi BOD

Salah satu parameter tambahan yang dianalisis pada penelitian ini adalah nilai konsentrasi BOD. BOD merupakan jumlah oksigen yang digunakan oleh organisme ketika mengonsumsi senyawa organik di dalam sampel air limbah. Banyak faktor yang mempengaruhi analisis konsentrasi BOD, antara lain yaitu suhu, tingkat pengenceran, proses nitrifikasi, senyawa toksik, sifat benih bakteri dan adanya organisme anaerobik (EPA, 1997).

Analisis BOD dilakukan pada influen air limbah dan effluen pengolahan menggunakan SBR. Analisis BOD ini dilakukan setiap dua hari sekali selama periode operasional, dikarenakan adanya penyesuaian terhadap frekuensi pengambilan sampel influen air limbah. Nilai konsentrasi BOD yang dianalisis pada penelitian ini didasarkan pada hasil analisis nilai BOD₅. Prosentase efisiensi penyisihan BOD pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.7.

Untuk reaktor dengan waktu aerasi 10 jam, efisiensi prosentase penyisihan BOD terbesar dicapai oleh R100-10 pada hari ketiga operasional, yaitu sebesar 85%. Sedangkan untuk reaktor dengan waktu aerasi 6 jam, efisiensi prosentase penyisihan BOD tertinggi juga dicapai pada hari ketiga, yaitu sebesar 83%. Sedangkan efisiensi prosentase penyisihan BOD terendah terjadi pada hari pertama pada R 50-10 dengan besar prosentase penyisihan BOD sebesar 51%. Pada reaktor dengan waktu aerasi 6 jam, efisiensi prosentase penyisihan BOD terendah juga terjadi pada hari pertama, yaitu sebesar 56%.



Gambar 4. 7 Efisiensi Penyisihan BOD Setiap Variasi Waktu Aerasi terhadap Prosentase Beban Air Limbah

Pada R 50-10 tren grafik mengalami penurunan setelah hari ketiga operasional, hal tersebut juga seiring dengan penurunan efisiensi penyisihan COD pada R 50-10 (Gambar 4.4). Hal tersebut dapat terjadi akibat kurangnya kandungan zat organik pada air limbah influen, sehingga substrat yang dibutuhkan terlalu sedikit untuk perkembangan mikroorganisme di dalam reaktor. Sehingga beberapa mikroorganisme yang tidak bisa bertahan hidup akan mati dan mengalami lisis. Hasil nilai prosentasi efisiensi penyisihan BOD dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Rata-rata tertinggi efisiensi penyisihan BOD dicapai oleh R100-10 yaitu sebesar 80%. Sehingga penyisihan BOD yang paling optimal terjadi pada reaktor dengan waktu aerasi 10 jam dan beban air limbah 100% (R 100-10).

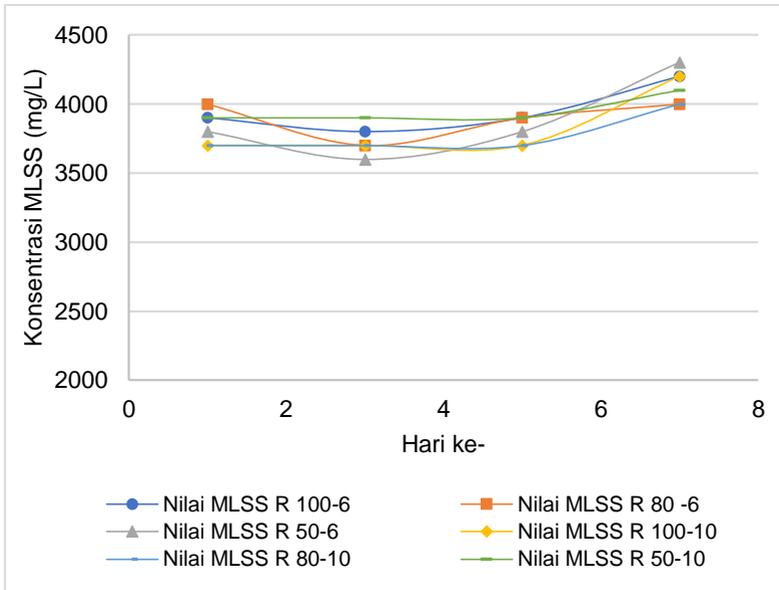
Tabel 4. 8 Efisiensi Penyisihan BOD Setiap Reaktor

Hari ke-	Removal BOD					
	R 100-6	R 80 -6	R 50-6	R 100-10	R 80-10	R 50-10
1	80%	72%	56%	80%	73%	51%
3	83%	72%	72%	85%	81%	79%
5	78%	73%	74%	78%	72%	71%
7	75%	65%	63%	76%	67%	59%
Rata-rata	79%	70%	66%	80%	73%	65%

Dari tabel efisiensi penyisihan BOD dapat dilihat bahwa efisiensi penyisihan BOD pada penelitian ini tidak terlalu besar. Hal tersebut dapat disebabkan karena adanya kandungan “*Hard*” BOD yang belum terdegradasi oleh mikroorganisme. Berbeda dengan “*Soft*” BOD yang merupakan senyawa dengan berat molekul kecil yang akan langsung didegradasi dan hanya memerlukan waktu 1 - 2 jam dalam proses penyisihannya. “*Hard*” BOD adalah BOD yang tidak mudah terurai dan membutuhkan waktu lebih lama dalam proses penyisihannya, bahkan mungkin membutuhkan waktu hingga beberapa hari untuk menyisihkannya (Davies, 2005).

4.3.5 Hasil Analisis MLSS dan MLVSS

Mixed Liquor Suspended Solid (MLSS) dan *Mixed Liquor Volatile Suspended Solid* (MLVSS) dianalisis menggunakan metode gravimetri. Analisis ini dilakukan setiap dua hari sekali dengan tujuan untuk mengetahui dan menjaga laju pertumbuhan jumlah mikroorganisme. Analisis MLVSS juga dilakukan untuk mengetahui nilai rasio F/M setiap reaktor. Nilai MLSS dan MLVSS ini merupakan konsentrasi padatan tersuspensi yang terkandung di dalam sampel. Konsentrasi MLSS dan MLVSS ini didapatkan dari analisis sampel campuran antara lumpur aktif dan air limbah yang dikeluarkan pada tahap *idle*. Konsentrasi MLSS selama periode operasional dapat dilihat pada Gambar 4.8 berikut.



Gambar 4. 8 Konsentrasi MLSS pada Setiap Reaktor

Sesuai tren grafik pada Gambar 4.8, dapat dilihat laju penambahan maupun penurunan konsentrasi MLSS untuk setiap reaktornya. Tren grafik konsentrasi MLSS untuk setiap reaktornya cenderung stabil dan mengalami peningkatan pada akhir periode operasional. Konsentrasi MLSS tertinggi dicapai pada hari ketujuh oleh reaktor R 50-6, yaitu sebesar 4300 mg/L. Sedangkan nilai konsentrasi MLSS terendah juga terdapat pada R 50-6 yang dicapai pada hari ketiga, yaitu sebesar 3600 mg/L. Akan tetapi nilai konsentrasi MLSS untuk setiap reaktor tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Semua nilai konsentrasi MLSS pada setiap reaktor masih sesuai dengan rentang tipikal kriteria desain untuk konsentrasi MLSS pada SBR, yaitu berkisar antara 2000 mg/L hingga 5000 mg/L (Metcalf dan Eddy, 2003). Pada pengolahan biologis, konsentrasi MLSS antara 3000-4000 mg/L memberikan nilai efisiensi penyisihan COD, $\text{NH}_3\text{-N}$ dan $\text{NO}_3\text{-N}$ yang paling optimal jika dibandingkan dengan konsentrasi MLSS yang lebih rendah atau melebihi angka tersebut (Al-Attabi *et al*, 2017).

Nilai MLSS R 50-6 pada hari ketujuh merupakan nilai MLSS yang paling tinggi di antara semua reaktor. Hal ini bisa disebabkan karena yang terukur pada saat analisis tidak hanya padatan organik, melainkan juga padatan inorganik yang tersuspensi. Padatan inorganik tersebut bisa berupa pasir, tanah, kerikil, butiran makanan maupun sampah, atau bahkan senyawa mineral dan garam yang terkandung di dalam air. Hal ini sesuai dengan pernyataan yang dibuat oleh Liu dan Liptak yang menyatakan bahwa, mikroorganisme yang masih aktif biasanya dinyatakan di dalam konsentrasi MLSS. Akan tetapi sebenarnya MLSS bukan merupakan konsentrasi mikroorganisme yang hidup, melainkan nilai yang mengindikasikan keberadaan mikroorganisme di dalam sistem. Konsentrasi MLSS digunakan karena dalam pengukuran jumlah organisme yang masih aktif secara tepat di dalam suatu sistem adalah hal yang sangat sulit (Liu dan Liptak, 1999). Nilai konsentrasi MLSS setiap reaktor dapat dilihat pada Tabel 4.9.

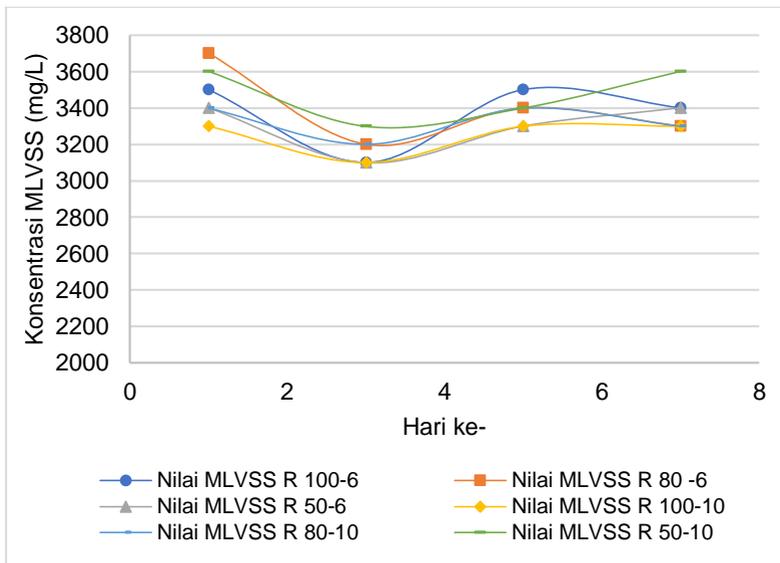
Tabel 4. 9 Konsentrasi MLSS pada Setiap Reaktor

Hari ke-	Nilai MLSS (mg/L)					
	R 100-6	R 80 -6	R 50-6	R 100-10	R 80-10	R 50-10
1	3900	4000	3800	3700	3700	3900
3	3800	3700	3600	3700	3700	3900
5	3900	3900	3800	3700	3700	3900
7	4200	4000	4300	4200	4000	4100
Rata-rata	3950	3900	3875	3825	3775	3950

Dari Tabel 4.9 dapat dilihat bahwa nilai konsentrasi MLSS untuk setiap reaktor tidak memiliki perbedaan yang besar. Rentang nilai rata-rata konsentrasi MLSS pada penelitian ini adalah antara 3775 mg/L hingga 3950 mg/L. Konsentrasi MLSS bisa mengalami peningkatan karena selama tahap reaksi-aerasi terjadi proses pembentukan lumpur yang akan meningkatkan konsentrasi MLSS. Akan tetapi perbedaan nilai konsentrasi MLSS pada pengolahan SBR tidak memiliki pengaruh yang signifikan pada proses dan

efisiensi penyisihan yang terjadi selama proses pengolahan di dalam SBR (Elmolla *et al*, 2012).

Selain itu juga dilakukan analisis terhadap konsentrasi MLVSS. Konsentrasi MLVSS ini mengindikasikan adanya padatan tersuspensi yang dapat teruapkan selama proses analisis. Padatan tersuspensi yang dapat teruapkan tersebut adalah padatan organik, dimana padatan inorganik tidak akan ikut teruapkan selama proses analisis. Grafik untuk konsentrasi MLVSS dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut.



Gambar 4. 9 Konsentrasi MLVSS pada Setiap Reaktor

Sebagian besar konsentrasi MLVSS pada setiap reaktor selama masa operasional juga sesuai dengan rentang tipikal desain untuk konsentrasi MLVSS pada pengolahan SBR, yaitu sebesar 1500 mg/L hingga 3500 mg/L (Wang *et al*, 2009). Nilai MLVSS terendah yaitu sebesar 3100 mg/L dan nilai MLVSS yang tertinggi yaitu sebesar 3700 mg/L. Untuk nilai konsentrasi MLVSS pada masing-

masing reaktor selama periode operasional selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.10.

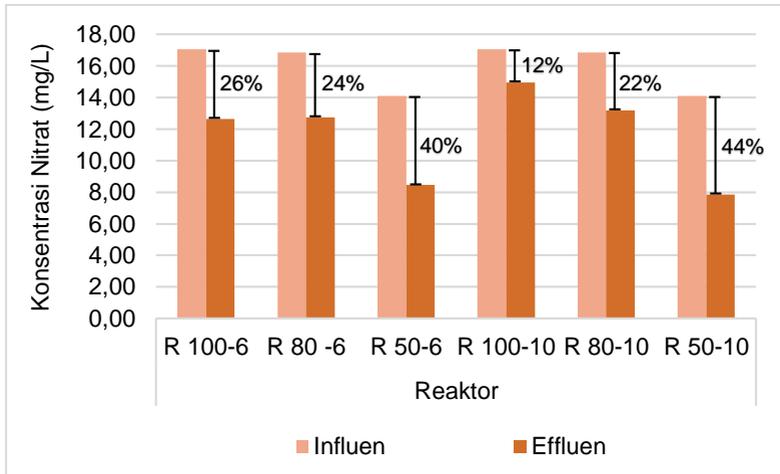
Tabel 4. 10 Konsentrasi MLVSS pada Setiap Reaktor

Hari ke-	Nilai MLVSS (mg/L)					
	R 100-6	R 80 -6	R 50-6	R 100-10	R 80-10	R 50-10
1	3500	3700	3400	3300	3400	3600
3	3100	3200	3100	3100	3200	3300
5	3500	3400	3300	3300	3400	3400
7	3400	3300	3400	3300	3300	3600
Rata-rata	3375	3400	3300	3250	3325	3475

4.3.6 Hasil Penyisihan Konsentrasi Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) dan Nitrit ($\text{NO}_2\text{-N}$)

Nitrat dan nitrit merupakan parameter tambahan dalam penelitian ini, yang dianalisis pada akhir periode operasional pada influen dan effluen air limbah. Metode yang digunakan dalam analisis nitrat adalah metode spektrofotometri menggunakan reagen *Brucine Acetate*, sedangkan analisis nitrit menggunakan metode spektrofotometri dengan reagen N- (1-naphthyl) ethylene diamine dihydrochloride (NED dihydrochloride). Kedua analisis tersebut masing-masing menggunakan pembacaan nilai absorbansi menggunakan spektrofotometri visual untuk menentukan nilai konsentrasinya. Efisiensi prosentase penyisihan nitrat beserta nilai konsentrasi nitrat pada influen serta effluen dapat dilihat pada Gambar 4.10.

Dari Gambar 4.10 diketahui bahwa dari semua reaktor dengan waktu aerasi selama 6 jam, R 50-6 memiliki nilai efisiensi prosentase penyisihan nitrat yang paling tinggi yaitu sebesar 40%. Sedangkan efisiensi prosentase penyisihan nitrat terendah untuk reaktor dengan waktu aerasi 6 jam terjadi pada R 80-6. Untuk



Gambar 4. 10 Efisiensi Penyisihan Nitrat Setiap Variasi Waktu Aerasi terhadap Prosentase Beban Air Limbah

reaktor dengan waktu aerasi 10 jam, efisiensi prosentase penyisihan nitrat tertinggi dapat dicapai oleh R 50-10 dengan efisiensi penyisihan sebesar 44%. Efisiensi prosentase penyisihan nitrat terendah terjadi pada R 100-10 yang hanya mencapai 12%. Sehingga kisaran efisiensi prosentase penyisihan nitrat untuk penelitian ini adalah sebesar 12% hingga 44%.

Penurunan konsentrasi nitrat tersebut terjadi dikarenakan adanya proses denitrifikasi yang terjadi di dalam reaktor. Denitrifikasi merupakan penurunan biologis dari nitrat menjadi oksida nitrit, oksida nitrogen dan gas nitrogen. Denitrifikasi biologis gabungan rantai transportasi elektron respiratori, serta nitrat dan nitrit digunakan sebagai akseptor elektron untuk mengoksidasi berbagai donor elektron organik maupun inorganik. Pada keadaan konsentrasi DO berada di bawah batas kondisi aerobik, enzim reduktase nitrat pada rantai respiratori transportasi elektron diinduksi, dan membantu memindahkan hidrogen dan elektron pada nitrat sebagai akseptor elektron. Reaksi pengurangan nitrat melibatkan berbagai tahapan reduksi, dari nitrat ke nitrit, oksida nitrit, oksida nitrogen dan gas nitrogen.

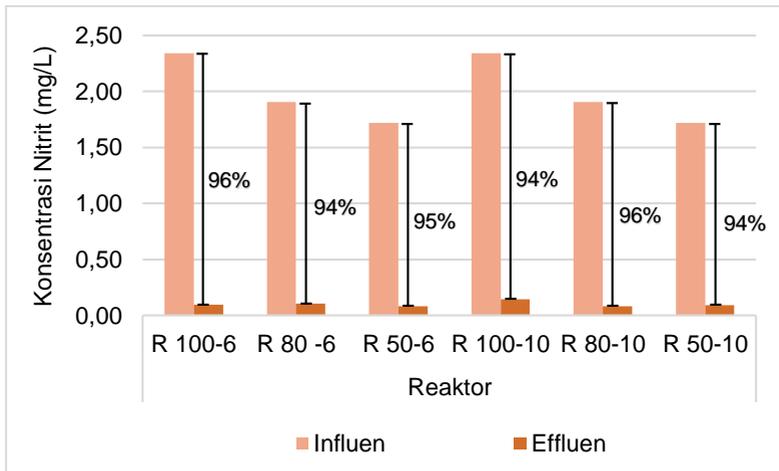


(Vives, 2005)

Berbagai bakteri telah memperlihatkan kemampuannya dalam proses denitrifikasi. Bakteri yang mampu melakukan proses denitrifikasi adalah bakteri heterotrof dan juga bakteri autotrof. Sebagian besar bakteri heterotrof adalah organisme aerobik fakultatif dengan kemampuan untuk menggunakan oksigen dan juga nitrat maupun nitrit, dan beberapa juga melakukan fermentasi dalam kondisi tanpa nitrat ataupun oksigen (Metcalf dan Eddy, 2003).

Banyak faktor yang mempengaruhi proses denitrifikasi, diantaranya adalah konsentrasi nitrat, kondisi anoksik, keberadaan senyawa organik, pH, suhu, alkalinitas dan dampak dari logam. Nilai pH optimal untuk proses denitrifikasi adalah berkisar antara 7 hingga 8,5. Sedangkan suhu optimal untuk proses denitrifikasi adalah sebesar 5°C hingga 30°C. Rendahnya efisiensi penyisihan nitrat dan kandungan konsentrasi nitrat pada effluen yang masih di atas 3 mg/L menunjukkan bahwa effluen tersebut telah ternitrifikasi secara penuh tetapi belum terdenitrifikasi sepenuhnya. Pada umumnya effluen yang ternitrifikasi sepenuhnya tetapi belum terdenitrifikasi sepenuhnya akan mengandung konsentrasi NO_3 sekitar 20 mg/L. (Anonymous, 2013).

Pada penelitian ini juga dilakukan analisis untuk konsentrasi nitrit-nitrogen yang bertujuan untuk mengetahui apakah proses nitrifikasi sudah berjalan dengan sempurna atau belum. Efisiensi prosentase penyisihan nitrit serta nilai konsentrasi nitrit pada influen dan effluen dapat dilihat pada Gambar 4.11. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa efisiensi prosentase penyisihan nitrit cukup tinggi, dimana memiliki range antara 94% hingga 96%. Hal tersebut mengindikasikan bahwa proses nitrifikasi telah terjadi sepenuhnya. Keberadaan konsentrasi nitrit pada effluen air limbah memang cukup rendah, karena nitrit merupakan senyawa transisi yang keberadaannya hanyalah sementara selama proses nitrifikasi-denitrifikasi.



Gambar 4. 11 Efisiensi Penyisihan Nitrit Setiap Variasi Waktu Aerasi terhadap Prosentase Beban Air Limbah

Proses oksidasi ammonia-nitrogen atau disebut pula nitrifikasi dilakukan oleh dua kelompok *nitrifiers* yang berbeda. Kelompok pertama akan mengoksidasi ammonia-nitrogen menjadi nitrit. Genus yang paling banyak pada kelompok ini adalah *Nitrosomonas*, tetapi terdapat pula *nitrifiers* yang lain. Keseluruhan reaksinya adalah sebagai berikut.

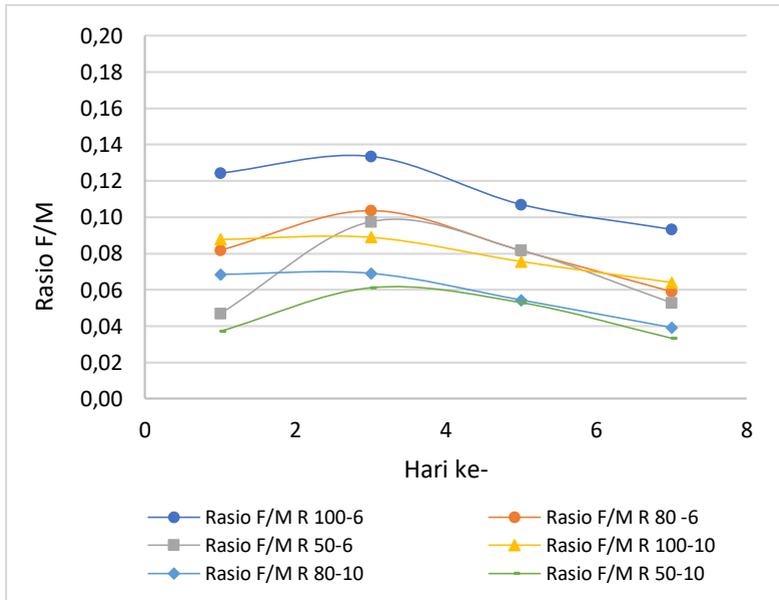


(Davies, 2005)

Konsentrasi nitrit akan menurun setelah $\text{NH}_4^+\text{-N}$ telah teroksidasi seluruhnya, sehingga pada akhir tahap aerobik nilai konsentrasi nitrit sangatlah rendah (Wagner dan Costa, 2013). Keberadaan konsentrasi nitrit yang lebih besar pada effluen air limbah bisa terjadi akibat proses nitrifikasi yang sedang terjadi sebagian dan belum selesai sepenuhnya (Anonymous, 2013).

4.3.7 Analisis Rasio F/M

Salah satu faktor yang penting di dalam pengolahan menggunakan SBR adalah nilai rasio F/M atau *food/microorgasme ratio*. Rasio F/M merupakan salah satu parameter untuk menentukan beban organik pada pengolahan lumpur aktif. Beban organik adalah parameter yang sangat penting pengaruhnya terhadap kinerja berbagai unit pengolahan dengan sistem lumpur aktif, termasuk pengolahan dengan menggunakan SBR. Pada penelitian ini dilakukan analisis terhadap nilai rasio F/M yang didasarkan pada nilai BOD dan MLVSS. Rentang tipikal sesuai desain kriteria untuk nilai rasio F/M pada pengolahan SBR adalah (0,04 – 0,10) kg BOD/kg MLVSS.hari (Metcalf dan Eddy, 2003).



Gambar 4. 12 Rasio F/M Setiap Variasi Waktu Aerasi terhadap Prosentase Beban Air Limbah

Pada penelitian ini nilai rasio F/M memiliki rentang antara (0,03 – 0,13) kg BOD/kg MLVSS.hari. Nilai rasio F/M tertinggi dicapai pada hari ketiga oleh reaktor R 100-6. Sedangkan nilai rasio F/M terendah terjadi pada reaktor R 50-10 pada hari ketujuh. Tren grafik nilai rasio F/M dapat dilihat pada Gambar 4.12.

Tren grafik rasio F/M menggambarkan bahwa hampir semua reaktor mengalami peningkatan pada hari ketiga. Tren grafik efisiensi prosentase penyisihan COD dan BOD juga mengalami peningkatan pada hari ketiga. Hal tersebut sesuai, karena dengan adanya peningkatan rasio F/M, maka hal tersebut juga akan meningkatkan laju penyisihan BOD, laju pertumbuhan dan laju respirasi (Davies, 2005).

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian pengolahan air limbah rumah sakit menggunakan *Sequencing Batch Reactor* (SBR) ini menghasilkan kesimpulan berupa:

1. Pengolahan air limbah rumah sakit menggunakan SBR dapat memberikan rentang hasil efisiensi penyisihan zat organik (COD) sebesar 36% - 81%, efisiensi penyisihan ammonia-nitrogen sebesar 45% - 97% dan efisiensi penyisihan fosfat sebesar 55% - 95%.
2. Durasi waktu aerasi pada tahap reaksi mempengaruhi kualitas effluen pengolahan. Dimana reaktor dengan waktu aerasi 10 jam memiliki efisiensi penyisihan COD dan ammonia-nitrogen yang lebih tinggi, yaitu pada R 100-10 dengan penyisihan sebesar 81% dan 97%. Sedangkan untuk waktu aerasi 6 jam dapat menunjukkan penyisihan ammonia-nitrogen dan fosfat yang lebih tinggi, yaitu pada R100-6 dengan penyisihan sebesar 97% dan 95%. Selama masa operasional, reaktor dengan waktu aerasi 6 jam (R100-6) memiliki nilai efisiensi penyisihan COD tertinggi sebesar 78%. Nilai tersebut memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan jika dibandingkan dengan reaktor yang memiliki waktu aerasi 10 jam. Sehingga reaktor dengan waktu aerasi 6 jam sudah mampu menyisihkan kandungan zat organik, ammonia-nitrogen dan fosfat secara optimal.
3. Prosentase pembebanan konsentrasi air limbah berdasarkan nilai COD juga sangat berpengaruh pada pengolahan di dalam SBR, dimana prosentase beban air limbah 100% (R 100-6 dan R 100-10) menunjukkan hasil penyisihan COD, ammonia-nitrogen dan fosfat dengan efisiensi tertinggi.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan ini, maka terdapat beberapa saran untuk penelitian terkait selanjutnya. Saran yang bisa diberikan adalah sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan pengambilan dan analisis pada sampel influen di dalam reaktor setelah tahap pengisian dan teraerasi serta tercampur selama $\pm (0,5 - 1)$ menit (influen tercampur rata dengan air limbah dan lumpur yang tersisa di dalam reaktor).
2. Perlu dilakukan analisis parameter DO pada setiap tahapan siklus untuk memastikan tingkat kelarutan oksigen agar sesuai dengan kondisi yang ingin dicapai (kondisi aerobik, anoksik maupun anaerobik).
3. Perlu dilakukan uji alkalinitas untuk mengetahui jumlah alkalinitas yang dibutuhkan maupun yang dihasilkan pada saat proses nitrifikasi dan denitrifikasi.
4. Perlu dilakukan uji dengan durasi waktu aerasi yang lebih singkat dan juga lebih lama agar perbandingan hasil yang didapatkan lebih bervariasi.
5. Untuk mengetahui efisiensi optimal penyisihan ammonia-nitrogen dapat dilakukan dengan menambahkan variasi waktu pengendapan yang lebih singkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, A.E.T dan Sudarmaji. (2013). Efektivitas Sistem Pengolahan Limbah Cair dan Keluhan Kesehatan pada Petugas IPAL di RSUD dr. M. Soewandhie Surabaya. **The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health**. Vol. 2(1): 82-89
- Al-Attabi, A.W.N., Harris, C., Alkhaddar, H., Alzeyadi, A. (2017). The Effects of Different MLSS Concentrations on The Sludge Characteristics and Effluent Quality in An ASSBR Under Low Temperature. **Journal of Water Process Engineering**. ISSN 2214-7144
- Aljumriana. (2015). Pengolahan Lindi Menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) pada Proses Aerobik-Anoksik. **Tugas Akhir**. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Alrhoun, M. (2014). Hospital Wastewaters Treatment: Upgrading Water Systems Plans and Impact on Purifying Biomass. **Thesis**. Université de Limoges, France.
- Amouei, A., Asgharnia, H.A., Mohammadi, A.A., Fallah, H., Dehghani, R., Miranzadeh, M.B. (2012). Investigation of Hospital Wastewater Treatment Plant Efficiency in North of Iran During 2010-2011. **International Journal of Physical Sciences**. Vol. 7(31): 5213-5217.
- Anymous. (2013). Nitrification & Denitrification. **The Water Planet Company**. New London, Connecticut.
- APHA. (1998). **Standard Methode for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association Publisher: New York.
- Budhi, Y.B., Setiadi, T., Harimurti, B. (1999). Peningkatan Biodegradabilitas Limbah Cair Printing Industri Tekstil Secara Anaerob. **Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo**. Institut Teknologi Bandung. ISSN 0854-7769: 157-164.
- Chen, Y., Cheng, J.J., Creamer, K.S. (2008). Inhibition of Anaerobic Digestion Process: A Review. **Bioresource Technology** **99**. 4044-4064.

- Davies, P.S. (2005). *The Biological Basis of Wastewater Treatment*. **Strathkelvin Instrument Ltd**. Kelvin Campus, West of Scotland Science Park, UK.
- Djaja, I.M dan Maniksulistya D. (2006). Gambaran Pengelolaan Limbah Cair di Rumah Sakit X Jakarta Februari 2006. **Makara, Kesehatan**. Vol.10(2): 60-63.
- Elmolla, E.S., Ramdass, N., Chaundhuri, M. (2012). Optimization of Sequencing Batch Reactor Operating Conditions for Treatment of High-strength Pharmaceutical Wastewater. **Journal of Environmental Science and Technology**. Vol. 5(6): 452-459.
- Etterer, T.J. (2006). Formation, Structure and Function of Aerobic Granular Sludge. **Dissertation**. Technische Universität München, Germany.
- Handayani, D., Yulianto M.E., Arifan, F., Arief B, M., et al. (2009). Pengembangan Sequencing Batch Bioreactor untuk Produksi Plastik Biodegradable (Polihidroksialkanoat) dari Limbah Cair Industri Tapioka. **Simposium Nasional RAPI VIII**, 58-65.
- Jungles, M.K., Campos, J.L., Costa, R.H.R. (2014). Sequencing Batch Reactor Operation for Treating Wastewater with Aerobic Granular Sludge. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**. Vol. 31(1): 27-33.
- Indriani, B.R. (2006). Pengaruh Rasio F/M Terhadap Pengolahan Air Terproduksi dengan *Sequencing Batch Reactor* (SBR). **Tugas Akhir**. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Kementrian Kesehatan RI. (2011). **Pedoman Teknis Instalasi Pengolahan Air Limbah dengan Sistem Biofilter Anaerob Aerob pada Fasilitas Pelayanan Kesehatan**. Jakarta.
- Koh, K.Y., Kueh, K.H., Loh, K.T., Leong, H.J., Chua, A.S.M., Hashim, A. (2009). Effect of Seeding Sludge Type and Hydrodynamic Shear Force on The Aerobic Sludge Granulation in Sequencing Batch Airlift Reactors. **Asia-Pac. J. Chem. Eng.** 2009(4): 826–831.
- Kutty, S.R.M., Isa, M.H., Leong, L.C. (2011). Removal of Ammonia-Nitrogen (NH₃-N) and Nitrate (NO₃) by Modified Conventional Activated-Sludge System to Meet New

- D.O.E Regulations. **International Conference on Environment and Industrial Innovation IPCBEE**. Vol. 12: 103-107.
- Li, J., Ding, L.B., Cai, A., Huang, G.X., Horn, H. (2014). Aerobic Sludge Granulation in a Full Scale Sequencing Batch Reactor. **BioMed Research International**. Vol. 2014. Article ID: 268789.
- Liu, D.H.F dan Liptak, B.G. (1999). **Environmental Engineers' Handbook**. CRC Press LLC, US.
- Mahvi, A.H. (2008). Sequencing Batch Reactor: A Promising Technology in Wastewater Treatment. **Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng**. Vol. 5(2): 79-90.
- Metcalf dan Eddy. (2003). **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**, 4th, Mc Graw-Hill, Boston.
- Mulyani, H., Sasongko, S.B., Soetrisnanto, D. (2012). Pengaruh Preklorinasi terhadap Proses *Start Up* Pengolahan Limbah Cair Tapioka Sistem *Anaerobic Baffled Reactor*. **Momentum**. Vol. 8(1): 21-27.
- NEIWPACC. (2005). Sequencing Batch Reactor Design and Operational Considerations. **Manual**, New England.
- Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72. (2013). **Baku Mutu Air Limbah Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya**. Lampiran V Hal. 43.
- Permatasari, D. (2011). Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Menggunakan Kompos Tidak Stabil Dan Eksudat Tumbuhan Dalam Sistem Evapotranspirasi. **Tugas Akhir**. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Prayitno. (2011). Teknologi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit. **J-PAL**. Vol. 1(2): 72-139.
- Rejeki, M., Probandari, A., Darmanto. (2014). Optimisasi Manajemen Pengelolaan Limbah Cair Rumah Sakit Sebagai Upaya Peningkatan Level Higienitas Rumah Sakit dan Lingkungan. **Simposium Nasional RAPI XIII**. ISSN 1412-9612
- Rezaee, A., Ansari, M., Khavanin, A., Sabzali, A., Aryan, M.M. (2005). Hospital Wastewater Treatment Using an Integrated Anaerobic Aerobic Fixed Film Bioreactor. **American Journal of Environmental Sciences**. Vol 1(4): 259-263.

- Rybicki, S. (1997). Advanced Wastewater Treatment. **Phosphorus Removal from Wastewater – A Literature Review**. Royal Institute of Technology, Stockholm.
- Sathasivan, A. (2017). Biological Phosphorus Removal Processes for Wastewater Treatment. **Water and Wastewater Treatment Technologies**. Curtin University of Technology, Australia.
- Samudro, G dan Mangkoedihardjo, S. (2010). Review on BOD, COD and BOD/COD Ratio: A Triangle Zone for Toxic, Biodegradable and Stable Levels. **International Journal of Academic Research**. Vol. 2(4): 235-239.
- Vives, M.T. (2005). SBR Technology for Wastewater Treatment: Suitable Operational Conditions for a Nutrient Removal. **Ph.D Thesis**, Universitat de Girona.
- Wagner, J dan Costa, R.H.R. (2013). Aerobic Granulation in a Sequencing Batch Reactor Using Real Domestic Wastewater. **Journal of Environmental Engineering**. 139. 1391-1396
- Waluyo, P. (2009). Kajian Teknologi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit dan SNI Terkait. **JAI**. Vol. 5(1): 62-73.
- Wang, L.K., Shammas, N.K., Hung, Y. (2009). **Advanced Biological Treatment Processes**., Volume 9. Humans Press. New York.

LAMPIRAN A PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM

1. Analisis COD (*Permanganate Value*)

a. Pembuatan Reagen

1. Larutan KMnO_4 0,01 N
Timbang dengan teliti 0,158 gram KMnO_4 dengan teliti. Larutkan dengan aquades hingga 1 L menggunakan labu pengencer 1 L.
2. Larutan Asam Oksalat 0,1 N
Timbang dengan teliti 0,63 gram asam oksalat kemudian tambahkan dengan 5 mL H_2SO_4 4 N. Encerkan dengan aquades hingga 100mL dengan menggunakan labu pengencer 100mL.
3. Larutan H_2SO_4 4 N
Larutkan 113,4 mL H_2SO_4 36 N dengan aquades hingga 1 L dengan menggunakan labu pengencer 1 L.

b. Prosedur Analisis

1. Disiapkan sampel yang akan dianalisis kadar CODnya.
2. Diambil 1 mL sampel kemudian diencerkan sampai 100 kali.
3. Dimasukan ke dalam erlenmeyer 100 mL, kemudian ditambahkan 2,5 mL asam sulfat 4 N.
4. Tambahkan beberapa tetes larutan KMnO_4 0,01 N hingga warna merah muda.
5. Panaskan hingga mendidih selama 1 menit.
6. Tambahkan 10 mL larutan KMnO_4 0,01 N.
7. Panaskan hingga mendidih selama 10 menit.
8. Tambahkan 1 mL larutan asam oksalat dan tunggu hingga jernih.
9. Titrasi dengan KMnO_4 0,01 N hingga warna merah muda .
10. Perhitungan nilai KMnO_4 dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{KMNO}_4 \text{ (mg/L)} = \frac{1000 \{[(10+a) \times N] - (1 \times 0,1)\} \times 31,6}{\text{Volume sampel}} \times P$$

dengan:

a = mL titrasi KMNO_4

N = normalitas larutan KMNO_4

P = nilai pengenceran

2. Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*)

a. Pembuatan Reagen

1. Larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,1 N
Timbang dengan teliti 4,9036 gram $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ yang telah dikeringkan di oven. Larutkan dengan aquades hingga 1 L menggunakan labu pengencer 1 L.
2. Larutan Ferro Ammonium Sulfat (FAS) 0,1 N
Timbang dengan teliti 39,2 gram $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ kemudian tambahkan dengan 8 mL H_2SO_4 pekat. Encerkan dengan aquades hingga 1 L dengan menggunakan labu pengencer 1 L.
3. Larutan Campuran Asam (Ag_2SO_4)
Larutkan 10 gram Ag_2SO_4 ke dalam 1 L H_2SO_4 hingga larut sempurna.
4. Larutan Indikator Ferroin
Larutkan 1,485 gram Orthophenanthroline dan 0,695 gram $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

b. Prosedur Analisis :

Metode analisis COD dilakukan dengan menggunakan prinsip *closed reflux* metode titimetri berdasarkan Greenberg *et al.* (2005), seperti berikut:

1. Disiapkan sampel yang akan dianalisis kadar CODnya.
2. Diambil 1 mL sampel kemudian diencerkan sampai 100 kali.
3. Disiapkan 2 buah tabung COD, kemudian dimasukkan sampel yang telah diencerkan

- sebanyak 1 mL dan aquades sebanyak 1 mL sebagai blanko.
4. Larutan Kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) ditambahkan sebanyak 1,5 mL.
 5. Larutan campuran asam (Ag_2SO_4) ditambahkan sebanyak 3,5 mL.
 6. Alat pemanas dinyalakan dan diletakkan tabung COD pada rak tabung COD di atas alat pemanas selama 2 jam.
 7. Setelah 2 jam, alat pemanas dimatikan dan tabung COD dibiarkan hingga dingin.
 8. Ditambahkan indikator ferroin sebanyak 1 tetes.
 9. Sampel di dalam tabung COD dipindahkan ke dalam Erlenmeyer kemudian dititrasi menggunakan larutan standard FAS 0,0125 N hingga warna biru-hijau berubah menjadi merah-coklat yang tidak hilang selama 1 menit.
 10. Perhitungan nilai COD dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$COD \text{ (mg } O_2/L) = \frac{(A - B) \times N \times 8000}{\text{Volume sampel} \times P}$$

Keterangan :

- A : mL FAS titrasi blanko
 B : mL FAS titrasi sampel
 N : normalitas larutan FAS
 P : nilai pengenceran

2. Analisis BOD (*Biological Oxygen Demand*)

a. Pembuatan Reagen

1. Larutan Buffer Fospat
 Campur dan larutkan KH_2PO_4 0,85 gram, K_2HPO_4 0,2175 gram, $Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$ 0,334 gram dan NH_4Cl 0,17 gram ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100mL.
2. Larutan $MgSO_4$
 Larutkan 0,225 gram $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100mL.

3. Larutan CaCl_2
Larutkan 0,275 gram CaCl_2 ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.
4. Larutan FeCl_3
Larutkan 0,025 gram $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.
Untuk membuat 1 L air pengencer maka dibutuhkan masing-masing 1 mL larutan Buffer Fospat, MgSO_4 , larutan CaCl_2 , larutan FeCl_3 dan larutan bakteri. Larutan bakteri dapat dibuat dengan mengaerasi 1 spatula (10 gram) tanah subur ke dalam air selama 2 jam.
5. Larutan MnCl_2 20%
Larutkan 20 gram MnCl_2 ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.
6. Larutan Pereaksi Oksigen
Campur dan larutkan 40 gram NaOH , 15 gram KI dan 2 gram NaN_3 ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.
7. Larutan Indikator Amilum 1%
Larutkan 1 gram amilum dengan 100 mL aquades yang sudah dididihkandi dalam labu pengencer 100 mL dan ditambahkan sedikit HgI_2 sebagai pengawet.
8. Larutan Thiosulfat 0,01 N
Larutkan 24,82 gram $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ke dalam 1 L aquades yang telah dididihkan dan didinginkan dengan menggunakan labu pengencer 1 L. Kemudian ditambahkan dengan 1 gram NaOH sebagai buffer.
9. H_2SO_4 pekat

b. Prosedur Analisis

Metode analisis BOD dilakukan dengan menggunakan prinsip winkler metode titimetri berdasarkan Greenberg *et al.* (2005), seperti berikut:

1. Untuk menentukan angka pengencerannya maka dibutuhkan angka KMNO_4 :

$$P = \frac{\text{Angka KMNO}_4}{3 \text{ atau } 5 \text{ (tergantung dari pH sampel)}}$$

2. Siapkan 1 buah labu pengencer 500 mL dan tuangkan sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran, tambahkan air pengencer hingga batas labu.
3. Siapkan 2 buah botol winkler 300 mL dan 2 buah botol winkler 150 mL.
4. Tuangkan air dalam labu pengencer tadi ke dalam botol winkler 300 mL dan 150 mL sampai tumpah.
5. Tuangkan air pengencer ke dalam botol winkler 300 mL dan 150 mL sebagai blanko sampai tumpah.
6. Bungkus kedua botol winkler 300 mL dengan menggunakan plastik wrap agar kedap udara. Kemudian masukkan kedua botol tersebut ke dalam inkubator 20°C selama 5 hari.
7. Kedua botol winkler 150 mL yang berisi air dianalisis oksigen terlarutnya dengan prosedur sebagai berikut:
 - Tambahkan 1 mL larutan MnCl₂.
 - Tambahkan 1 mL larutan Pereaksi Oksigen.
 - Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udara di dalam botol kemudian dikocok beberapa kali.
 - Biarkan gumpalan mengendap selama ± 10 menit.
 - Tambahkan 1 mL H₂SO₄ pekat, tutup dan kocok kembali.
 - Tuangkan 100 mL larutan ke dalam Erlenmeyer 250 mL
 - Tambahkan 3 tetes indikator amilum.
 - Titrasi dengan larutan Natrium Thiosulfat 0.0125 N sampai warna biru hilang.
8. Setelah 5 hari, analisis kedua larutan dalam winkler 300 mL seperti analisis oksigen terlarut.
9. Hitung oksigen terlarut dan BOD dengan rumus berikut:

$$OT \text{ (mg O}_2\text{/L)} = \frac{a \times N \times 8000}{100 \text{ mL}}$$

$$\text{BOD}_{5^{20}} \text{ (mg/L)} = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)]}{P}$$

$$P = \frac{\text{mL sampel}}{\text{volume hasil pengenceran (500 mL)}}$$

Dimana:

X_0 = oksigen terlarut sampel pada $t = 0$

X_5 = oksigen terlarut sampel pada $t = 5$

B_0 = oksigen terlarut blanko pada $t = 0$

B_5 = oksigen terlarut blanko pada $t = 5$

P = derajat pengenceran

a = volume titran (mL)

N = Normalitas Natrium Thiosulfat

3. Analisis Ammonia-Nitrogen

a. Pembuatan Reagen

1. Nessler

Campur dan haluskan 50 gram serbuk HgI_2 dan 35 gram KI kemudian dilarutkan dengan 80 gram NaOH yang sudah dilarutkan dengan aquades hingga 500 mL. Biarkan mengendap dan diambil supernatannya.

2. Garam Signet

Larutkan 50 gram K.Na. Tatrak dalam 500 mL aquades, kemudian ditambahkan 5 mL larutan nessler sebagai pengawet.

3. Larutan Standar Ammonium (100 ppm atau 100 mg/L)

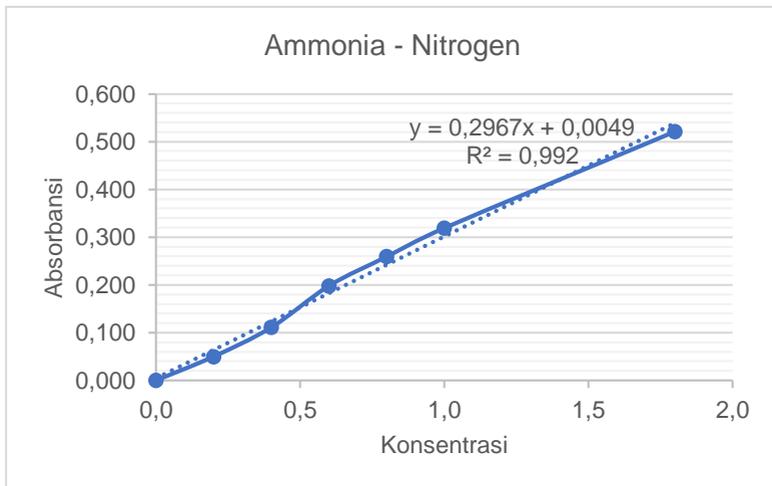
Timbang dengan teliti 382,14 mg NH_4Cl kemudian larutkan ke dalam aquades sebanyak 1 L di dalam labu pengencer 1 L. Ditambahkan 3 tetes toluen sebagai pengawet.

b. Kalibrasi

Sebelum melakukan kalibrasi maka terlebih dahulu dilakukan penentuan panjang gelombang maksimum untuk analisis ammonia-nitrogen.

1. Penentuan Panjang Gelombang Analisis Ammonia-Nitrogen

Panjang Gelombang	Absorbansi
385	0,208
386	0,224
387	0,222
388	0,217
389	0,215
390	0,213
395	0,197
400	0,186
405	0,169



2. Kurva Kalibrasi Analisis Ammonia-nitrogen
Digunakan panjang gelombang 386 nm sesuai dengan hasil penentuan panjang gelombang optimum.

Konsentrasi	Absorbansi
0,0	0,000
0,2	0,050
0,4	0,111
0,6	0,198
0,8	0,259
1,0	0,319
1,8	0,521

c. Prosedur Analisis

1. Disiapkan sampel yang akan dianalisis kadar ammonianya.
2. Diambil 25 mL sampel (diencerkan jika sampel terlalu pekat)
3. Ditambahkan 1 mL larutan nessler
4. Ditambahkan 1,25 mL larutan garam signet
5. Diaduk dan didiamkan selama ± 10 menit
6. Dibaca dengan spektrofotometer $\lambda=386$ nm
7. Blanko yang digunakan adalah aquades dengan penambahan reagen seperti pada sampel.

4. Analisis Nitrat-Nitrogen

a. Pembuatan Reagen

1. Brucine Asetat 0,5%
Larutkan 0,5 gram serbuk brucine dengan 100 mL acetic acid glacial (CH_3COOH) di dalam labu pengencer 100 mL, kocok hingga larut sempurna.
2. H_2SO_4 pekat
3. Larutan Standar Nitrat (100 ppm atau 100 mg/L)

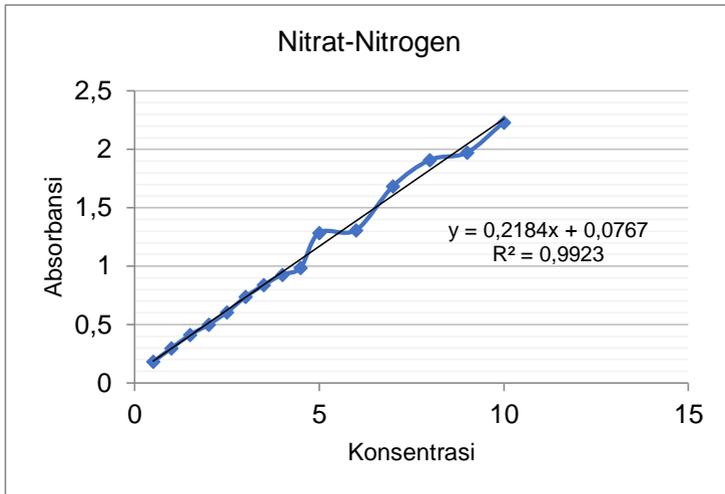
Timbang dengan teliti 721,8 mg KNO_3 kemudian larutkan ke dalam aquades sebanyak 1 L di dalam labu pengencer 1 L.

b. Kalibrasi

Sebelum melakukan kalibrasi maka terlebih dahulu dilakukan penentuan panjang gelombang maksimum untuk analisis nitrat-nitrogen.

1. Penentuan Panjang Gelombang Analisis Nitrat-Nitrogen

Panjang gelombang	Absorbansi
390	0.296
391	0.297
392	0.298
393	0.299
394	0.301
395	0.302
396	0.302
397	0.303
398	0.304
399	0.304
400	0.305
401	0.305
402	0.305
403	0.411
404	0.414
405	0.414



2. Kurva Kalibrasi Analisis Nitrat-nitrogen

Digunakan panjang gelombang 390 nm sesuai dengan hasil penentuan panjang gelombang optimum.

Konsentrasi	Absorbansi
0,5	0.183
1,0	0.300
1,5	0.413
2,0	0.501
2,5	0.607
3,0	0.737
3,5	0.840
4,0	0.929
4,5	0.989
5,0	1.287
6,0	1.310

Konsentrasi	Absorbansi
7,0	1.685
8,0	1.910
9,0	1.972
10,0	2.232

c. Prosedur Analisis

1. Disiapkan sampel yang akan dianalisis kadar nitratnya.
2. Diambil 2 mL sampel (diencerkan jika sampel terlalu pekat)
3. Ditambahkan 2 mL larutan brucin asetat
4. Ditambahkan 4 mL larutan H₂SO₄ pekat
5. Diaduk dan didiamkan selama ± 10 menit
6. Dibaca dengan spektrofotometer λ=390 nm
7. Blanko yang digunakan adalah larutan sampel (tanpa reagen)

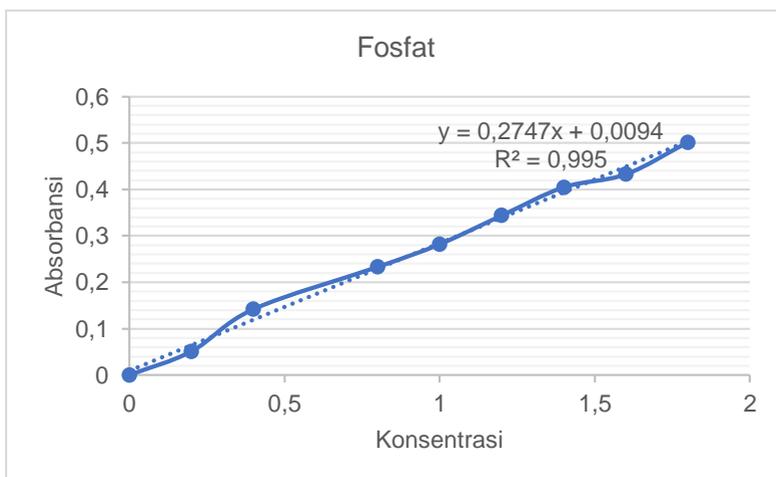
5. Analisis Fosfat

a. Bahan dan Alat

1. Larutan Ammonium Molybdate (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O).
2. Larutan Klorid Timah (SnCl).
3. Erlenmeyer 100 ml 2 buah.
4. Spektrofotometer dan kuvet.
5. Pipet 25 ml, 10 ml, 5 ml.

Panjang Gelombang	Absorbansi
685	0,296
690	0,297
695	0,297

Panjang Gelombang	Absorbansi
696	0,298
697	0,297
698	0,297
699	0,296
700	0,296



Konsentrasi	Absorbansi
0,0	0,000
0,2	0,051
0,4	0,142
0,8	0,233
1,0	0,282
1,2	0,344

Konsentrasi	Absorbansi
1,4	0,405
1,6	0,433
1,8	0,502

b. Prosedur Analisis

1. Ambil 2 buah erlenmeyer 100 ml, isi masing-masing dengan sampel air dan air aquadest (sebagai blanko) sebanyak 25 ml.
2. Tambahkan 1 ml larutan Ammonium Molybdate.
3. Tambahkan 2-3 tetes larutan Klorid Timah.
4. Aduk dan biarkan selama 7 menit.
5. Baca pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 650 μm .
6. Absorbansi hasil pembacaan, dihitung dengan rumus hasil kalibrasi atau dibaca dengan kurva kalibrasi.

6. Analisis MLSS (*Mixed Liquor Suspended Solid*)

a. Prosedur Analisis

Teknik analisis MLSS dalam penelitian ini menggunakan metode gravimetri berdasarkan modifikasi dari metode analisis TSS pada Greenberg et al. (2005) seperti berikut:

1. Cawan porselin dipanaskan pada furnace dengan suhu 550°C selama 1 jam, kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 15 menit.
2. Disiapkan kertas saring dan dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 1 jam.
3. Kertas saring dan cawan dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit.

4. Cawan dan kertas saring ditimbang bersamaan dengan menggunakan neraca analitik. Hasil penimbangan cawan dicatat sebagai a (mg), dan hasil penimbangan kertas saring dicatat sebagai b (mg).
5. Kertas saring yang telah ditimbang, diletakkan pada vacuum filter.
6. Sampel disaring dengan menggunakan vacuum filter yang telah dipasang kertas saring yang telah ditimbang. Sampel disaring hingga kering. Dicatat volume sampel yang disaring sebagai c (mL).
7. Diambil kertas saring yang telah digunakan pada langkah 6 kemudian diletakkan pada cawan yang sama dengan yang digunakan pada langkah 4.
8. Cawan yang berisi kertas saring dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 1 jam.
9. Cawan yang berisi kertas saring dipindahkan ke dalam desikator selama 15 menit.
10. Cawan yang berisi kertas saring ditimbang dengan menggunakan neraca analitik. Hasil penimbangan dicatat sebagai d (mg).
11. Dilakukan perhitungan jumlah zat padat tersuspensi (TSS) dalam sampel dengan rumus:

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{d(a+b)}{c} \times 2000$$

7. Analisis MLVSS (*Mixed Liquor Volatile Suspended Solid*)

a. Prosedur Analisis

Teknik analisis MLVSS dalam penelitian ini menggunakan metode gravimetri berdasarkan modifikasi dari metode analisis VSS pada Greenberg et al. (2005). Analisis MLVSS ini merupakan lanjutan dari hasil analisis MLSS seperti berikut:

1. Cawan yang berisi kertas saring, yang mengandung residu dari hasil analisis MLSS dimasukkan ke dalam furnace dengan suhu 550°C selama 1 jam.

2. Setelah di furnace, cawan dan kertas saring dipindahkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 15 menit.
3. Cawan yang berisi kertas saring kemudian dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit.
4. Cawan dan kertas saring ditimbang menggunakan neraca analitik. Hasil penimbangan cawan dicatat sebagai e (mg).
5. Dihitung jumlah zat padat tersuspensi organik (VSS) dalam sampel dengan rumus:

$$FSS \text{ (mg/L)} = \frac{(e - a)}{c} \times 2000$$

$$VSS \text{ (mg/L)} = TSS - FSS$$

8. Analisis pH

a. Prosedur Analisis

Analisis pH menggunakan pH meter dengan bacaan digital. Prosedur analisis menggunakan modifikasi dari Greenberg *et al.* (2005) sebagai berikut:

1. pH meter distandarisasi menggunakan larutan buffer pH pada pH 4, 7, dan 10. Standarisasi dilakukan dengan mencelupkan probe pH meter bergantian ke dalam larutan buffer dengan urutan: buffer pH 4 → buffer pH 7 → buffer pH 10 → buffer pH 7.
2. Diambil sejumlah sampel dan diletakkan ke dalam *beaker glass*.
3. Dichelupkan probe pH meter ke dalam sampel yang diukur nilai pH nya.
4. Dibaca nilai pH sampel pada monitor pembaca.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN B PERHITUNGAN DEBIT AERATOR DAN KAPASITAS REAKTOR

Perhitungan Debit Aerator

Y	: 0,4 mgVSS/mgCOD
k_d	: 0,06 /hari
BOD ₅	: 0,68 BOD _L
So	: 100 mg/liter
Se	: 30 mg/liter

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + k_d \times \theta_c}$$

$$= \frac{0,4}{1 + 0,06 \times \frac{1}{3} \text{hari}}$$

$$= 0,392$$

$$Px = Q \cdot Y_{obs} (So - Se)$$

$$= 9 \text{ liter/hari} \times 0,392 \times (100 - 30)$$

$$= 246,96 \text{ mg/hari}$$

$$\text{Kebutuhan } O_2 = \frac{Q (So - Se)}{f} - 1,42 Px$$

$$= \frac{9 \text{ liter/hari} (100 - 30) \frac{\text{mg}}{\text{liter}}}{0,68} - (1,42 \times 246,96 \text{ mg/hari})$$

$$= 575,79 \text{ mg/hari}$$

$$= 5,76 \times 10^{-4} \text{ kg/hari}$$

$$\rho \text{ udara} = \gamma \text{ udara} = 1,201 \text{ kg/m}^3$$

$$O_2 = 23,2\% V \text{ udara}$$

$$V \text{ udara} = \frac{0,000576 \text{ kg/hari}}{1,201 \times 0,232} = 0,00207 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$O_2 \text{ transfer di dalam udara} = 8\%$$

$$V \text{ udara aktual} = \frac{0,00207 \text{ kg/hari}}{0,08} = 0,026 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Untuk kebutuhan nitrifikasi = 2

$$\begin{aligned} V \text{ udara desain} &= 2 \times 0,026 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1/1440 \text{ menit} \times 1000 \text{ L/m}^3 \\ &= 0,036 \text{ L/menit} \sim 60 \text{ L/jam} \\ &\text{(menyesuaikan yang ada di pasaran)} \end{aligned}$$

Telah dilakukan pula uji transfer jumlah oksigen pada alat aerator yang digunakan, dan hasilnya adalah sebagai berikut.

Durasi waktu	Nilai DO (mg/L O ₂)	Transfer O ₂ (mg/L O ₂)
0 jam	1,07	
1 jam	4,27	3,2
2 jam	4,43	3,36
3 jam	4,45	3,38
4 jam	4,66	3,59
5 jam	4,86	3,79
6 jam	4,86	3,79
Rata-rata		3,52

Sehingga rata-rata transfer oksigen oleh alat aerator yang digunakan adalah sebesar 3,52 mg/L O₂.

Perhitungan Kapasitas Reaktor

Kriteria Desain:

$$L_{org} = 0,08 - 0,24 \text{ (Wang et al, 2009)}$$

$$0,1 - 0,3 \text{ (Metcalf dan Eddy, 2003)}$$

Pembuktian kapasitas reaktor menggunakan rumus berikut.

$$L_{org} = \frac{Q \times S_o}{V \times 1000 \text{ g/kg}}$$

$$V = \frac{Q \times S_o}{L_{org} \times 1000 \text{ g/kg}}$$

Keterangan: L_{org} : volumetric organic loading
(kgBOD/m³.hari)
 Q : debit influen (m³/hari)
 S_o : konsentrasi BOD influen (g/m³)
 V : volume reaktor

- Pada HRT 8 jam dapat dihitung kapasitas volume reaktor sebagai berikut.

$$Q = \frac{\text{Volume influen}}{\text{HRT}}$$

$$= \frac{3 \text{ liter}}{8 \text{ jam}}$$

$$= 0,009 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Dengan L_{org} sebesar 0,15 kg BOD/m³.hari untuk prosentase beban air limbah 100%.

$$V = \frac{Q \times S_o}{L_{org} \times 1000 \text{ g/kg}}$$

$$= \frac{0,009 \times 100 \text{ g/m}^3}{0,15 \text{ kg BOD/m}^3.\text{hari} \times 1000 \text{ g/kg}}$$

$$= 0,006 \text{ m}^3$$

$$= 6 \text{ liter}$$

Dengan L_{org} adalah 0,12 kg BOD/m³.hari untuk prosentase beban air limbah 80%.

$$V = \frac{Q \times S_o}{L_{org} \times 1000 \text{ g/kg}}$$

$$= \frac{0,009 \times 80 \text{ g/m}^3}{0,12 \text{ kg BOD/m}^3.\text{hari} \times 1000 \text{ g/kg}}$$

$$= 0,006 \text{ m}^3$$

$$= 6 \text{ liter}$$

Dengan L_{org} adalah 0,09 kg BOD/m³.hari untuk prosentase beban air limbah 60%.

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{Q \times S_o}{L_{org} \times 1000 \text{ g/kg}} \\
 &= \frac{0,009 \times 60 \text{ g/m}^3}{0,09 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari} \times 1000 \text{ g/kg}} \\
 &= 0,006 \text{ m}^3 \\
 &= 6 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

- Pada HRT 12 jam dapat dihitung kapasitas volume reaktor sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{\text{Volume influen}}{\text{HRT}} \\
 &= \frac{3 \text{ liter}}{12 \text{ jam}} \\
 &= 0,006 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Dengan L_{org} adalah 0,1 kg BOD/m³.hari untuk prosentase beban air limbah 100%.

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{Q \times S_o}{L_{org} \times 1000 \text{ g/kg}} \\
 &= \frac{0,006 \times 100 \text{ g/m}^3}{0,1 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari} \times 1000 \text{ g/kg}} \\
 &= 0,006 \text{ m}^3 \\
 &= 6 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

Dengan L_{org} adalah 0,08 kg BOD/m³.hari untuk prosentase beban air limbah 80%.

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{Q \times S_o}{L_{org} \times 1000 \text{ g/kg}} \\
 &= \frac{0,006 \times 80 \text{ g/m}^3}{0,08 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari} \times 1000 \text{ g/kg}} \\
 &= 0,006 \text{ m}^3 \\
 &= 6 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

Dengan L_{org} adalah 0,06 kg BOD/m³.hari untuk prosentase beban air limbah 60%.

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{Q \times S_o}{L_{org} \times 1000 \text{ g/kg}} \\
 &= \frac{0,006 \times 60 \text{ g/m}^3}{0,06 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari} \times 1000 \text{ g/kg}} \\
 &= 0,006 \text{ m}^3 \\
 &= 6 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

LAMPIRAN C
TABEL-TABEL DATA ANALISIS LAB

1. Analisis Karakteristik Awal

Analisis COD

Hari ke-	Nilai COD (mg/L)
1	377,14
2	453,33
3	454,90
4	426,67
5	460,95
6	414,20
7	220,95
8	274,29
Rata-rata	385,30

Analisis PV

Hari ke-	Nilai Permanganat (mg/L)
1	266,23
2	275,08
3	410,11
4	356,92
5	284,03
6	138,72
7	200,37
8	199,65
Rata-rata	266,39

Analisis BOD

Hari ke-	Nilai BOD ₅ (mg/L)
1	168,71
2	282,53
3	397,39
4	189,81
5	-
6	56,38
7	-
8	132,85
Rata-rata	204,61

Analisis Ammonia-Nitrogen

Hari ke-	Nilai Ammonium (mg/L)
1	70,63
2	85,96
3	48,05
4	38,10
5	63,72
6	42,65
Rata-rata	58,18

Analisis Fosfat

Hari ke-	Nilai Fosfat (mg/L)
1	8,48
2	14,85
3	12,80
4	10,85
5	12,85
6	11,34
Rata-rata	11,86

2. Analisis Uji Aklimatisasi

Hari ke-	Nilai COD (mg/L)
0	288,46
1	200,00
2	130,77
3	150,00
4	203,85
5	221,60
6	180,28
7	166,34
8	99,01
9	61,54
10	57,69
11	53,85
12	46,15

3. Analisis Percobaan Utama

Analisis COD

Hari ke-	Analisis COD (mg/L) Durasi Waktu Aerasi 6 jam					
	Inf 100%	R 100-6	Inf 80%	R 80-6	Inf 50%	R 50-6
1	288,46	173,08	269,23	126,92	157,69	73,08
2	173,08	100,00	208,96	134,33	104,48	56,72
3	357,69	76,92	274,63	86,57	179,10	62,69
4	538,46	157,69	214,93	68,66	134,33	47,76
5	519,23	153,85	259,70	68,66	125,37	38,81
6	280,77	80,77	247,76	86,57	98,51	29,85
7	140,00	40,00	112,00	40,00	80,00	32,00
Rata- rata	328,24	111,76	211,06	106,90	142,64	88,55

Hari ke-	Analisis COD (mg/L) Durasi Waktu Aerasi 10 jam					
	Inf 100%	R 100-10	Inf 80%	R 80-10	Inf 50%	R 50-10
1	288,46	96,15	230,77	53,85	130,77	30,77

Hari ke-	Analisis COD (mg/L) Durasi Waktu Aerasi 10 jam					
	Inf 100%	R 100-10	Inf 80%	R 80-10	Inf 50%	R 50-10
2	173,08	46,15	134,62	53,85	92,31	26,92
3	357,69	69,23	284,62	103,85	207,69	88,46
4	538,46	146,15	326,92	103,55	265,38	88,36
5	519,23	119,23	238,46	57,69	176,92	87,98
6	280,77	76,92	150,00	34,62	65,38	38,46
7	140,00	40,00	112,00	28,00	60,00	36,00
Rata- rata	328,24	84,83	211,06	62,20	142,64	56,71

Analisis Ammonia-Nitrogen

Hari ke-	Analisis Ammonia-Nitrogen (mg/L) Durasi Waktu Aerasi 6 jam					
	Inf 100%	R 100-6	Inf 80%	R 80-6	Inf 50%	R 50-6
1	31,53	11,25	25,46	6,20	15,35	3,63
2	31,36	11,21	25,13	6,18	15,02	3,59
3	32,20	11,18	26,98	6,05	15,69	3,61
4	31,87	9,69	26,81	4,68	15,18	3,80

Hari ke-	Analisis Ammonia-Nitrogen (mg/L) Durasi Waktu Aerasi 6 jam					
	Inf 100%	R 100-6	Inf 80%	R 80-6	Inf 50%	R 50-6
5	36,42	8,56	32,37	3,92	11,98	3,21
6	20,41	1,77	17,04	0,88	12,15	3,17
7	19,40	0,56	13,67	0,47	2,38	0,44
Rata- rata	29,03	7,75	23,92	4,05	12,54	3,06

Hari ke-	Analisis Ammonia-Nitrogen (mg/L) Durasi Waktu Aerasi 10 jam					
	Inf 100%	R 100-10	Inf 80%	R 80-10	Inf 50%	R 50-10
1	31,53	17,40	25,46	11,76	15,35	4,55
2	31,36	17,38	25,13	11,72	15,02	4,49
3	32,20	17,42	26,98	11,79	15,69	4,57
4	31,87	13,15	26,81	9,61	15,18	4,13
5	36,42	6,79	32,37	6,66	11,98	2,11
6	20,41	0,84	17,04	2,01	12,15	1,25
7	19,40	0,59	13,67	0,70	2,38	0,51
Rata- rata	29,03	10,51	23,92	7,75	12,54	3,09

Analisis Fosfat

Hari ke-	Analisis Fosfat (mg/L) Durasi Waktu Aerasi 6 jam					
	Inf 100%	R 100-6	Inf 80%	R 80-6	Inf 50%	R 50-6
1	9,34	1,78	7,43	1,36	4,61	0,73
2	9,30	1,46	7,4	1,12	4,65	0,79
3	9,28	0,55	7,37	0,50	4,58	0,58
4	9,25	0,46	7,24	0,45	4,06	0,48
5	11,07	0,55	7,88	0,50	6,06	0,58
6	9,43	0,44	7,7	0,89	5,24	0,61
7	9,97	1,00	7,43	1,45	4,24	1,90
Rata- rata	9,66	0,89	7,49	0,90	4,78	0,81

Hari ke-	Analisis Fosfat (mg/L) Durasi Waktu Aerasi 10 jam					
	Inf 100%	R 100-10	Inf 80%	R 80-10	Inf 50%	R 50-10
1	9,34	1,78	7,43	1,45	4,61	0,99
2	9,30	1,79	7,4	1,21	4,65	0,77
3	9,28	0,66	7,37	0,60	4,58	0,68

Hari ke-	Analisis Fosfat (mg/L) Durasi Waktu Aerasi 10 jam					
	Inf 100%	R 100-10	Inf 80%	R 80-10	Inf 50%	R 50-10
4	9,25	0,66	7,24	0,60	4,06	0,68
5	11,07	0,70	7,88	0,63	6,06	0,69
6	9,43	0,98	7,7	0,87	5,24	2,21
7	9,97	1,76	7,43	1,44	4,24	1,05
Rata- rata	9,66	1,19	7,49	0,97	4,78	1,01

Analisis BOD

Hari ke-	Analisi BOD (mg/l)					
	R 100-6	R 80 -6	R 50-6	R 100-10	R 80-10	R 50-10
1	29,66	28,61	23,36	28,35	27,04	26,25
3	22,84	30,45	28,35	21,00	20,74	21,00
5	27,04	24,94	23,36	27,04	26,25	25,99
7	26,51	22,84	22,31	25,73	21,53	24,41

Analisis Nitrat-Nitrogen

Reaktor	Volume Sampel (ml)	Faktor Pengenceran	Absorbansi (A)	Nilai Nitrat (mg/L)
Influen 100%	2	2,5	1,567	17,06
Influen 80%	2	2,5	1,549	16,85
Influen 50%	2	2,5	1,308	14,09
SBR 100-6	2	10	0,497	12,66
SBR 80-6	2	10	0,501	12,76
SBR 50-6	2	10	0,333	8,46
SBR 100-10	2	10	0,587	14,97
SBR 80-10	2	10	0,518	13,20
SBR 50-10	2	10	0,310	7,87

Analisis Nitrit-Nitrogen

Reaktor	Volume Sampel (ml)	Faktor Pengenceran	Absorbansi (A)	Nilai Nitrit (mg/L)
Influen 100%	25	2,5	0,283	2,34
Influen 80%	25	2,5	0,231	1,91
Influen 50%	25	2,5	0,209	1,72
SBR 100-6	25	1,0	0,034	0,10
SBR 80-6	25	1,3	0,030	0,11
SBR 50-6	25	1,0	0,030	0,08
SBR 100-10	25	1,7	0,031	0,15
SBR 80-10	25	1,0	0,030	0,08
SBR 50-10	25	1,0	0,032	0,09

Analisis Rasio F/M

Hari ke-	Rasio F/M					
	R 100-6	R 80 -6	R 50-6	R 100-10	R 80-10	R 50-10
1	0,12	0,08	0,05	0,09	0,07	0,04
3	0,13	0,10	0,10	0,09	0,07	0,06
5	0,11	0,08	0,08	0,08	0,05	0,05
7	0,09	0,06	0,05	0,06	0,04	0,03

Analisis pH

Hari ke-	Reaktor	pH
1	Influen 100%	7,28
	Influen 80%	7,45
	Influen 50%	7,42
	SBR 100-6	7,14
	SBR 80-6	7,46
	SBR 50-6	7,73

Hari ke-	Reaktor	pH
5	Influen 100%	7,47
	Influen 80%	7,66
	Influen 50%	7,74
	SBR 100-6	7,26
	SBR 80-6	7,68
	SBR 50-6	7,90

Hari ke-	Reaktor	pH
	SBR 100-10	7,45
	SBR 80-10	7,68
	SBR 50-10	7,42
2	Influen 100%	7,41
	Influen 80%	7,68
	Influen 50%	7,52
	SBR 100-6	7,34
	SBR 80-6	7,54
	SBR 50-6	7,83
	SBR 100-10	7,35
	SBR 80-10	7,27
	SBR 50-10	7,21
3	Influen 100%	7,37
	Influen 80%	7,55
	Influen 50%	7,62
	SBR 100-6	7,24
	SBR 80-6	7,64

Hari ke-	Reaktor	pH
	SBR 100-10	7,26
	SBR 80-10	7,46
	SBR 50-10	7,83
6	Influen 100%	7,37
	Influen 80%	7,49
	Influen 50%	7,35
	SBR 100-6	7,48
	SBR 80-6	7,80
	SBR 50-6	7,41
	SBR 100-10	7,53
	SBR 80-10	7,76
	SBR 50-10	7,75
7	Influen 100%	7,63
	Influen 80%	7,70
	Influen 50%	7,62
	SBR 100-6	7,33
	SBR 80-6	7,65

Hari ke-	Reaktor	pH
	SBR 50-6	7,83
	SBR 100-10	7,75
	SBR 80-10	7,70
	SBR 50-10	7,20
4	Influen 100%	7,30
	Influen 80%	7,37
	Influen 50%	7,26
	SBR 100-6	7,26
	SBR 80-6	7,70
	SBR 50-6	7,80
	SBR 100-10	7,38
	SBR 80-10	7,60
SBR 50-10	8,06	

Hari ke-	Reaktor	pH
	SBR 50-6	8,35
	SBR 100-10	7,23
	SBR 80-10	7,35
	SBR 50-10	7,77

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN D DOKUMENTASI PENELITIAN



Running SBR



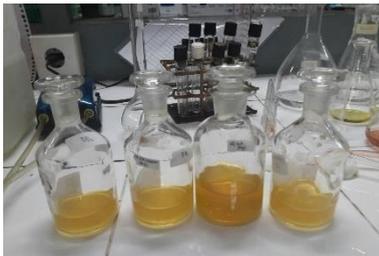
Analisis COD



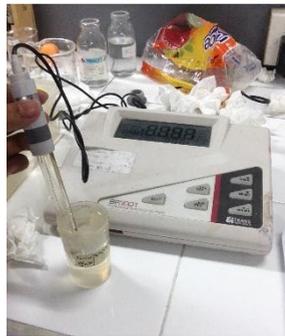
Analisis Fosfat



Analisis Ammonia



Analisis BOD



Analisis pH

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIOGRAFI PENULIS



Penulis yang lahir pada 06 Oktober 1994 mengenyam pendidikan dasar pada tahun 2001-2007 di SDN Kapas 1. Setelah itu, dilanjutkan di SMPN 1 Bojonegoro pada tahun 2007-2010 dan SMAN 1 Bojonegoro pada tahun 2010-2013. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS Surabaya pada tahun 2013-2017 yang terdaftar dengan NRP 3313 100 034.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif di dalam organisasi kemahasiswaan sebagai staf Departemen Seni dan Olahraga HMTL periode 2015/2016. Selain itu, penulis juga aktif menjadi panitia di berbagai kegiatan HMTL maupun ITS. Penulis berkesempatan menjalankan Kerja Praktik di Petrokimia, Gresik untuk melakukan evaluasi *Operation & Maintenance* (O&M) pada *Effluent Treatment Unit* Produksi III PT Petrokimia Gresik. Penulis dapat dihubungi via email afifahhaquee@gmail.com.