



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (613423A)
LITERATURE REVIEW

***CYCLE TIME DAN KONDISI OPERASI PENGOLAHAN
BIOLOGIS SEQUENCING BATCH REACTOR (SBR) DALAM
PENYISIHAN TN DAN TP***

ARUM ALFIANUR IKHWAN
NRP. 1016040048

DOSEN PEMBIMBING :

Dr. MIRNA APRIANI S.T., M.T.
LUQMAN CAHYONO S.Pd., M.T.

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PENGOLAHAN LIMBAH
JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2020**



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

**TUGAS AKHIR (613423A)
LITERATURE REVIEW**

**CYCLE TIME DAN KONDISI OPERASI PENGOLAHAN
BIOLOGIS SEQUENCING BATCH REACTOR (SBR)
DALAM PENYISIHAN TN DAN TP**

**ARUM ALFIANUR IKHWAN
NRP. 1016040048**

DOSEN PEMBIMBING:

Dr. MIRNA APRIANI S.T., M.T.

LUQMAN CAHYONO S.Pd., M.T.

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PENGOLAHAN LIMBAH
JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2020**

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**LITERATURE REVIEW: CYCLE TIME DAN KONDISI OPERASI
PENGOLAHAN BIOLOGIS SEQUENCING BATCH REACTOR (SBR)
DALAM PENYISIHAN TN DAN TP**

**Disusun Oleh:
Arum Alfianur Ikhwan
1016040048**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan
Program Studi Teknik Pengolahan Limbah
Jurusan Teknik Permesinan Kapal
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA**

**Disetujui oleh Tim penguji Tugas Akhir Tanggal Ujian : 21 Agustus 2020
Periode Wisuda : Oktober 2020**

Menyetujui,

Dosen Penguji	NIDN	Tanda Tangan
1. Dr. Mirna Apriani, S.T., M.T.	(0014047807)	(.....)
2. Luqman Cahyono, S.Pd., M.T.	(0024089002)	(.....)
3. Tarikh Azis Ramadani, S.T., M.T.	(-)	(.....)
4. Ahmad Erlan Afiuddin, S.T., M.T.	(0028048901)	(.....)

Dosen Pembimbing	NIDN	Tanda Tangan
1. Dr. Mirna Apriani, S.T., M.T.	(0014047807)	(.....)
2. Luqman Cahyono, S.Pd., M.T.	(0024089002)	(.....)

**Menyetujui
Ketua Jurusan,**

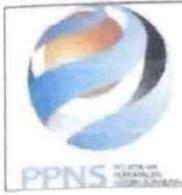


**George Endri Kusuma, S.T., M.Sc. Eng.
NIP. 197605172009121003**

**Mengetahui
Koordinator Program Studi,**

**Adhi Setiawan, S.T., M.T.
NIP. 198702242014041001**

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

No. : F.WD I 021
Date : 3 Nopember 2015
Rev. : 01
Page : 1 dari 1

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Arum Alfianur Ikhwan
NRP. : 1016040048
Jurusan/Prodi : D4 – Teknik Pengolahan Limbah

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

Tugas Akhir yang saya kerjakan dengan judul :

LITERATURE REVIEW: CYCLE TIME DAN KONDISI OPERASI PENGOLAHAN BIOLOGIS SEQUENCING BATCH REACTOR (SBR) DALAM PENYISIHAN TN DAN TP.

Adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain.

Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh tanggung jawab.

Surabaya, 21 September 2020

Yang membuat pernyataan,



(Arum Alfianur Ikhwan)
NRP. 1016040048

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

LITERATURE REVIEW: CYCLE TIME DAN KONDISI OPERASI PENGOLAHAN BIOLOGIS SEQUENCING BATCH REACTOR (SBR) DALAM PENYISIHAN TN DAN TP

Arum Alfianur Ikhwan

ABSTRAK

Nutrien merupakan salah satu masalah utama terhadap lingkungan perairan. Peningkatan jumlah nutrisi di permukaan air dapat menyebabkan berbagai masalah lingkungan. Aliran yang mengandung nutrisi dapat menyebabkan aliran beracun (karena amonia), membuat air tanah terkontaminasi oleh nitrat dan terjadinya eutrofikasi. *Sequencing batch reactor* (SBR) merupakan salah satu pengolahan biologis untuk menyisihkan nutrisi. Pengolahan SBR telah terbukti menjadi alternatif yang layak untuk dalam *Biological Nutrient Removal* (BNR). Beberapa *literature review* telah mengkaji mengenai SBR, akan tetapi bila ditinjau kembali *literature review* tersebut masih kurang spesifik membahas tentang kondisi operasi dan *cycle time* pada pengolahan SBR. *Literature review* ini akan mengkaji mengenai kondisi operasi dan *cycle time* pada pengolahan SBR khususnya untuk menyisihkan Total Nitrogen (TN) dan Total Phosphor (TP). Efisiensi penyisihan yang dicapai pada setiap penelitian dengan kondisi operasi dan *cycle time* yang optimum. Sumber limbah yang dapat menggunakan pengolahan SBR juga kelebihan dan kekurangan SBR dibahas pada *literature review* ini. *Literature review* ini juga membahas *Future Research* dari pengolahan SBR. Hasil kajian dari beberapa penelitian yang telah dilakukan dalam *literature review* ini didapatkan beberapa sumber limbah yang dapat menggunakan pengolahan SBR. Sumber limbah terdiri dari *synthetic wastewater*, limbah industri dan non industri. Kondisi optimum dicapai pada temperatur antara 5-35°C dan pH antara 7-8,5 dapat mencapai efisiensi penyisihan TN dan TP >90%. Pengolahan SBR kedepannya dapat digunakan sebagai salah satu teknologi dalam menangani limbah nutrisi. Pengolahan SBR memiliki efisiensi cukup tinggi dengan mengkombinasikan beberapa fase dari aerobik, anaerobik, anoksik dan oksik. Kombinasi dari beberapa fase ini dapat meningkatkan laju penyisihan secara optimal.

Kata Kunci : *Future Research, Literature Review, Nutrien, Sequencing Batch Reactor.*

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

***LITERATURE REVIEW: CYCLE TIME AND OPERATING
CONDITIONS OF SEQUENCING BATCH REACTOR (SBR)
BIOLOGICAL PROCESSING IN ELIMINATION OF TN AND TP***

Arum Alfianur Ikhwan

ABSTRACT

Nutrients are one of the main problems in the aquatic environment. Increasing the amount of nutrients in surface water can cause a variety of environmental problems. Flow containing nutrients can cause toxic flow (due to ammonia), contaminating groundwater with nitrates and eutrophication. Sequencing batch reactor (SBR) is one of the biological treatments to remove nutrients. SBR processing has proven to be a viable alternative for Biological Nutrient Removal (BNR). Several literature reviews have reviewed the SBR, but when reviewed, the review literature is not specific enough to discuss the operating conditions and cycle time of SBR processing. This literature review will examine the operating conditions and cycle time in SBR processing, especially to remove Total Nitrogen (TN) and Total Phosphorous (TP). The removal efficiency achieved in each study with optimum operating conditions and cycle time. Sources of waste that can use SBR treatment as well as the advantages and disadvantages of SBR are discussed in this literature review. This literature review also discusses the Future Research of SBR processing. The results of the study from several studies that have been carried out in this literature review found several sources of waste that can use SBR processing. The waste sources consist of synthetic wastewater, industrial and non-industrial waste. The optimum conditions are achieved at temperatures between 5-35 °C and pH between 7-8.5 which can achieve TN and TP removal efficiency > 90%. In the future, SBR processing can be used as a technology in dealing with nutrient waste. SBR processing has a high efficiency by combining several phases from aerobic, anaerobic, anoxic and oxic. The combination of these phases can increase the removal rate optimally.

Keywords: *Future Research, Literature Review, Nutrient, Sequencing Batch Reactor.*

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir *literature review* yaitu “*Cycle Time dan Kondisi Operasi Pengolahan Biologis Sequencing Batch Reactor (SBR) dalam Penyisihan TN dan TP*” dengan baik.

Tugas akhir *literature review* ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan kuliah di Program Studi D4 Teknik Pengolahan Limbah dan memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik. Penulis sangat menyadari bahwa keberhasilan penulisan Tugas Akhir ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Melalui kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Allah SWT. yang selalu memberikan hidayah-Nya dan nabi Muhammad SAW. yang telah memberikan safa’atnya dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua tercinta Ibu Endang Sri Rahayu dan Bapak Zainul Ikhwan yang telah memberikan dukungan lahir dan batin kepada saya, serta adik saya Erina Dwi Maulindia yang menemani saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. Eko Julianto, M.Sc., FRINA. selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Bapak George Endri Kusuma, S.T., M.Sc.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
5. Bapak Adhi Setiawan, S.T., M.T. selaku Koordinator Program Studi Teknik Pengolahan Limbah Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
6. Ibu Dr. Mirna Apriani, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I yang telah banyak memberikan doa, bimbingan, masukan dan semangat yang sangat bermanfaat dalam penyelesaian kemajuan tugas akhir *literature review* ini.
7. Bapak Luqman Cahyono, S.Pd., M.T. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan doa, bimbingan, masukan dan semangat dalam penyelesaian tugas akhir *literature review* ini.
8. Bapak Ahmad Erlan Afiuddin, S.T., M.T selaku dosen penguji I yang telah

- memberikan masukan dan saran dalam tugas akhir *literatur review* ini.
9. Bapak Tarikh Azis R, S.T., M.T selaku dosen penguji II yang telah memberikan masukan dan saran dalam tugas akhir *literatur review* ini.
 10. Segenap Dosen Program Studi Teknik Pengolahan Limbah yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan yang bermanfaat.
 11. PT. Cheil Jedang Indonesia Ploso-Jombang yang telah memberikan kesempatan untuk saya melakukan OJT.
 12. Keluarga Besar Departemen *Environment* khususnya WWT PT. Cheil Jedang Indonesia Ploso-Jombang yang menjaga dan membimbing saya sewaktu OJT.
 13. Keluarga Besar PL angkatan 2016 atas 4 tahun yang indah ini yang telah menjadi keluarga kedua selama di surabaya, yang telah memberikan dukungan, bantuan dan segala motivasi juga semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini, serta suka duka yang telah kita alami bersama akan selalu jadi bagian indah dalam hidup ini.
 14. Semua pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu. Terimakasih banyak atas semua bantuan yang diberikan.

Semoga Allah SWT melimpahkan rahmat, berkat dan karunia-Nya kepada semuanya. Tugas Akhir ini masih sangat jauh dari sempurna, kritik dan saran yang dapat menyempurnakan penyusunan Tugas Akhir sangat diperlukan. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Surabaya, 21 Agustus 2020
Penulis

Arum Alfianur Ikhwan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT.....	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
BAB I PENDAHULUAN	19
1.1 Latar Belakang	19
1.2 Rumusan Masalah	21
1.3 Tujuan.....	21
1.4 Manfaat <i>Literature review</i>	22
1.5 Batasan Masalah <i>Literature review</i>	22
BAB II METODE <i>LITERATURE REVIEW</i>	23
2.1 Metode <i>Literature review</i>	23
2.1.1 Rumusan Masalah dan Tujuan	24
2.1.2 Mengumpulkan Literatur.....	24
2.1.3 Mengkaji Literatur dan Membuat <i>List Ringkasan Paper</i>	25
2.1.4 Melakukan Kompilasi Kajian untuk Keperluan <i>Future Research</i> ...	25

2.1.5	Menyusun Kesimpulan dan Saran	26
2.1.6	Menuliskan Kajian Literatur	26
BAB III <i>LITERATURE REVIEW</i>		27
3.1	Nutrien	27
3.2	Nitrogen (N).....	28
3.3	Fosfor (P)	32
3.3	<i>Biological Nutrient Removal</i>	33
3.4	<i>Sequencing Batch Reactor</i> (SBR).....	35
3.5	Kondisi Operasi Pengolahan SBR	36
3.6	<i>Cycle time</i>	47
3.7	Pengaruh <i>Cycle time</i> terhadap Penyisihan TN dan TP	50
BAB IV ANALISIS <i>LITERATURE REVIEW</i>		59
4.1	Analisis Sumber Limbah Pengolahan SBR	59
4.2	Analisis Kondisi Operasi Pengolahan SBR	62
4.3	Analisis Pengaruh <i>Cycle time</i>	69
4.4	Analisis Kelebihan dan Kekurangan SBR	74
4.5	<i>Future Research</i> Pengolahan SBR	75
BAB V PENUTUP		77
5.1	Kesimpulan	77
5.2	Saran	79
DAFTAR PUSTAKA.....		81

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Contoh Tabel Ringkasan Literatur	25
Tabel 2.2 Contoh Tabel Ringkasan <i>Cycle time</i>	25
Tabel 3.1 Tabel Ringkasan SBR dalam Penyisihan TN	44
Tabel 3.2 Tabel Ringkasan SBR dalam Penyisihan TP	46
Tabel 3.3 Tabel Ringkasan <i>Cycle time</i>	56

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Alur Penulisan <i>Literature review</i>	23
Gambar 3.1 Bentuk Nitrogen	30
Gambar 3.2 Siklus Nitrogen.....	32
Gambar 3.3 Tahapan <i>Cycle time</i>	50

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nutrien merupakan salah satu masalah utama yang memberikan dampak negatif terhadap lingkungan perairan (Liu *et al.*, 2019). Peningkatan jumlah nutrisi di permukaan air dari aktivitas manusia seperti kegiatan industri yang mengeluarkan limbah menyebabkan berbagai masalah lingkungan (Azhdarpoor *et al.*, 2014). Aliran yang mengandung nutrisi dapat menyebabkan aliran beracun (karena amonia), membuat air tanah terkontaminasi oleh nitrat dan terjadinya eutrofikasi (Curtin *et al.*, 2011).

Aliran yang beracun karena amonia, disebabkan oleh bentuk molekul amonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) yang tidak terionisasi kemudian menjadi racun bagi perairan. Dampak dari keracunan amonia dapat bersifat akut (kematian ikan) atau kronis (efek pada reproduksi atau perkembangan ikan) (Brown *et al.*, 2005). Aliran yang mengandung nitrat mempunyai potensi untuk mencemari air tanah. Kontaminasi kandungan nitrat pada air tanah dapat menyebabkan masalah kesehatan seperti *methemoglobinemia* (sindrom bayi biru) yang mengakibatkan mati lemas (Curtin *et al.*, 2011).

Eutrofikasi merupakan masalah yang juga disebabkan oleh aliran yang mengandung nutrisi (nitrogen dan fosfor). Eutrofikasi terjadi karena pengayaan nutrisi yang berlebihan dari badan air yang dapat menyebabkan peningkatan pertumbuhan alga dan tanaman berakar (Brown *et al.*, 2005). Oleh sebab itu, penurunan kadar nitrogen dan fosfor dalam limbah cair sangat penting untuk melindungi ekosistem air dan menghilangkan masalah eutrofikasi di danau dan aliran juga melindungi kesehatan manusia.

Nitrogen merupakan unsur kimia yang ditemukan dalam semua makhluk hidup. Nitrogen membentuk 80 persen dari atmosfer dan merupakan unsur ketujuh yang paling banyak keberadaannya di bumi. Nitrogen dalam limbah cair terdiri dari berbagai bentuk seperti Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) yang merupakan kombinasi dari 60% nitrogen amonia dan 40% nitrogen organik.

Sumber nitrogen dalam limbah cair termasuk berbagai bahan organik, seperti kotoran manusia, urea, dan pupuk.

Fosfor merupakan unsur yang ada dalam semua makhluk hidup, namun tidak pernah ditemukan dalam bentuk unsur dan sangat tidak stabil keberadaannya. Ada berbagai jenis fosfor dalam limbah cair yang meliputi *Orthophosphate*, *Polyphosphate* dan *Phosphate* yang terikat secara organik. Kandungan fosfor pada limbah cair biasanya memiliki konsentrasi 5 – 9 mg/L. Fosfor dapat ditentukan dengan *Total Phosphorus* (TP) (Curtin *et al.*, 2011).

Beberapa masalah yang disebabkan oleh nitrogen dan fosfor, membuat peran teknologi pengolahan limbah sangatlah penting untuk mengurangi keberadaannya. Teknologi pengolahan limbah yang digunakan berupa pengolahan secara fisik, kimia maupun biologi. Teknologi pengolahan biologis yang digunakan salah satunya yaitu *Sequencing Batch Reactor* (SBR).

Sequencing Batch Reactor (SBR) merupakan salah satu teknologi pengolahan yang mempunyai fungsi untuk menyisihkan nutrisi dalam bentuk *single tank*. Sistem pengolahan ini memiliki fase siklus yaitu *fill* (pengisian), *react* (pemberian reaksi), *settle* (pengendapan), *decant* (penuangan) dan *idle* (didiamkan) (Metcalf dan Eddy, 2014).

Fase siklus merupakan fase yang penting dalam pengolahan SBR. Fase siklus dapat mempengaruhi kinerja dari SBR dalam menyisihkan nutrisi. Waktu yang dibutuhkan dalam fase siklus merupakan salah satu faktor keberhasilan dalam pengolahan SBR. Dalam beberapa tahun terakhir, terdapat peningkatan jumlah penelitian mengenai pengolahan SBR.

Literature review yang telah diterbitkan umumnya berisi mengenai penyisihan TN dan TP menggunakan pengolahan SBR. Namun, bila ditinjau kembali *literature review* tersebut masih kurang spesifik membahas mengenai waktu siklus (*cycle time*) yang dibutuhkan dan kondisi operasi pada pengolahan SBR dalam menyisihkan TN dan TP. *Cycle time* adalah faktor penting yang harus dipertimbangkan saat mengoptimalkan proses pengolahan (Singh dan Sriyastaya, 2010).

Literature review ini akan memberikan pembaruan mengenai hasil kemajuan penelitian tentang *cycle time* yang digunakan dan kondisi operasi pada pengolahan SBR dalam menyisihkan TN dan TP selama 10 tahun terakhir. *Literature review* ini disusun dengan tujuan untuk mengkaji mengenai kondisi dan faktor-faktor dari pengolahan SBR yang dapat mempengaruhi *cycle time*. Dengan dituliskannya *Literature review* ini, peneliti ataupun *stakeholder* dari industri dapat memiliki acuan mengenai *cycle time* yang dibutuhkan dalam pengolahan SBR untuk menyisihkan TN dan TP.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Sumber limbah apa saja yang dapat memanfaatkan teknologi SBR dalam penyisihan TN dan TP?
2. Bagaimana kondisi operasi pada pengolahan SBR dalam penyisihan TN dan TP?
3. Bagaimana pengaruh *cycle time* dalam efisiensi penyisihan TN dan TP?
4. Apa saja kelebihan dan kekurangan pengolahan SBR dalam menyisihkan TN dan TP?
5. Rekomendasi apa saja yang dapat diberikan untuk *Future Research* berdasarkan topik bahasan yang sudah di *review*?

1.3 Tujuan

Tujuan dari *literature review* ini adalah :

1. Meninjau secara detail sumber limbah yang dapat memanfaatkan teknologi SBR dalam penyisihan TN dan TP berdasarkan hasil penelitian yang ditinjau.
2. Meninjau secara detail kondisi operasi pada pengolahan SBR dalam penyisihan TN dan TP berdasarkan hasil penelitian yang ditinjau.
3. Meninjau secara detail pengaruh *cycle time* dalam efisiensi penyisihan TN dan TP berdasarkan hasil penelitian yang ditinjau.

4. Mendeskripsikan kelebihan dan kekurangan pengolahan SBR dalam menyisihkan TN dan TP.
5. Mendeskripsikan dan merumuskan rekomendasi untuk keperluan *Future Research* berdasarkan topik bahasan yang sudah di *review*.

1.4 Manfaat *Literature review*

Manfaat dari *literature review* ini adalah :

1. Memberikan informasi mengenai hasil kemajuan tentang penelitian pengaruh *cycle time* dalam penyisihan TN dan TP.
2. Dapat digunakan sebagai acuan atau panduan bagi para peneliti yang akan meneliti mengenai penggunaan teknologi SBR dalam penyisihan TN dan TP.
3. Meminimalkan kesalahan penelitian mengenai pemanfaatan SBR dalam mengolah TN dan TP di masa yang akan datang.

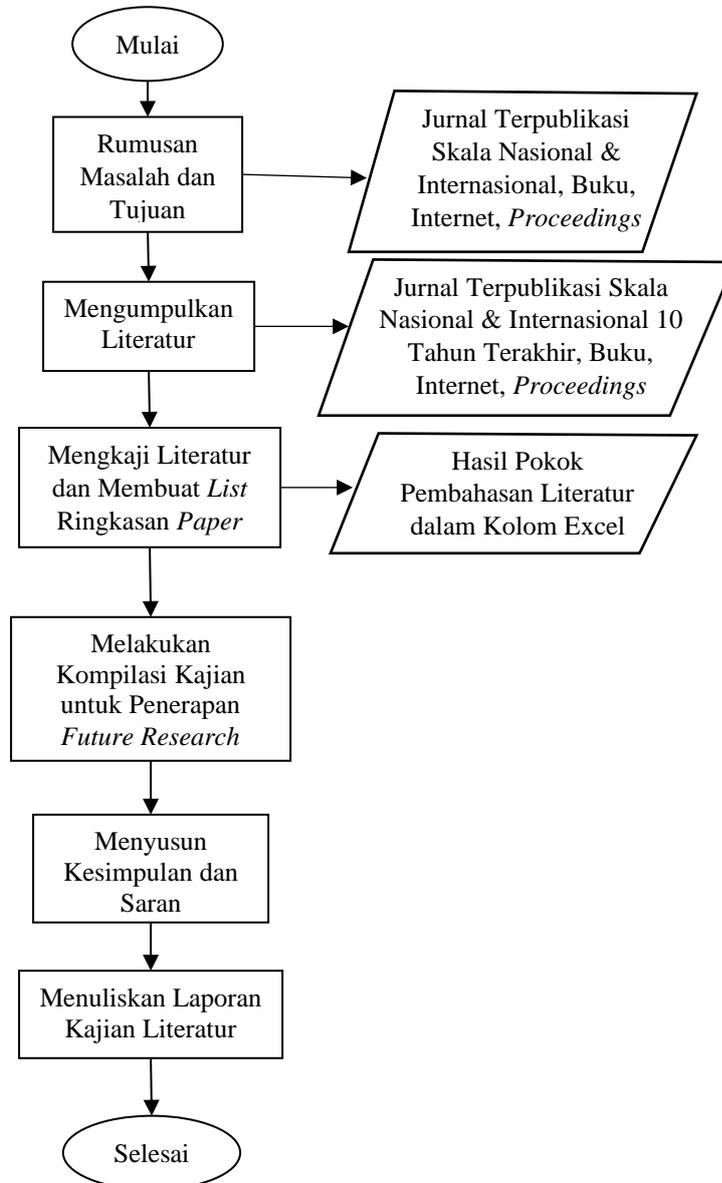
1.5 Batasan Masalah *Literature review*

1. *Literature review* ini akan membahas mengenai hasil penelitian tentang pengaruh *cycle time* dalam penyisihan TN dan TP diutamakan selama 10 (sepuluh) tahun terakhir.
2. *Literature review* ini akan membahas mengenai hasil penelitian pada pengolahan biologis unit *Sequencing Batch Reactor (SBR) Anoxic-Aerobic, Anaerobic-Anoxic-Aerobic, Anoxic-Oxic* dan *Anaerobic-Anoxic* diutamakan selama 10 (sepuluh) tahun terakhir
3. Jenis referensi yang digunakan dalam *literature review* ini adalah *jurnal ilmiah* diutamakan selama 10 (sepuluh) tahun terakhir, *buku, peraturan, standard* juga referensi lainnya yang berskala internasional maupun nasional dan relevan dengan topik bahasan.

BAB II
METODE *LITERATURE REVIEW*

2.1 Metode *Literature review*

Literature review ini disusun berdasarkan alur penulisan berupa langkah-langkah pengerjaan. Alur penulisan *literature review* dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Alur Penulisan *Literature review*

2.1.1 Rumusan Masalah dan Tujuan

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data awal, informasi dan pengetahuan lainnya. Informasi yang didapatkan berkaitan dengan penelitian melalui jurnal yang terpublikasi dalam skala nasional maupun internasional, buku, *proceeding*, dan artikel-artikel yang terkait. Hasil studi yang didapatkan dari referensi tersebut kemudian digunakan untuk merancang rumusan masalah dan tujuan dari penulisan *Literature review*. Rumusan masalah dan tujuan digunakan sebagai acuan untuk menentukan pokok bahasan dari penulisan *Literature review*.

Permasalahan yang dirumuskan dari penulisan *Literature review* ini yaitu tentang *cycle time* pada pengolahan biologis *Sequencing Batch Reactor* (SBR) dalam penyisihan *Total Nitrogen* (TN) dan *Total Phosphorus* (TP). Dalam permasalahan tersebut membahas *cycle time* dari beberapa jenis pengolahan SBR dengan pengaruh karakteristik maupun kondisi reaktor dalam menyisihkan TN dan TP.

2.1.2 Mengumpulkan Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan informasi dan pengetahuan lain yang mendukung secara relevan berkaitan dengan topik bahasan dalam penulisan *Literature review*. Referensi yang digunakan dalam penulisan *Literature review* terdiri dari jurnal dalam skala nasional maupun internasional, buku, *proceeding*, dan artikel-artikel yang terkait topik bahasan dalam penulisan *Literature review*.

Referensi berupa jurnal skala nasional maupun internasional memiliki ketentuan jurnal yang terpublikasi diutamakan selama 10 (sepuluh) tahun terakhir sejak *Literature review* ini disusun.

2.1.3 Mengkaji Literatur dan Membuat *List Ringkasan Paper*

Pada tahap ini dilakukan ringkasan poin dari beberapa literatur yang telah dikumpulkan. Dari hasil ringkasan poin tersebut disajikan dalam bentuk tabel, tujuannya untuk mempermudah mengkaji lebih detail tiap poinnya. Hasil dari kajian tersebut kemudian akan dituliskan dalam bab pembahasan pada penulisan *Literature review*. *List* hasil kajian akan dimasukkan ke dalam tabel yang telah dibuat sesuai dengan pokok bahasan. Contoh tabel dijelaskan pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Contoh Tabel Ringkasan Literatur SBR

Referensi	Jenis Limbah	Pokok Bahasan										Teknologi pengolahan	
		Suhu Kontrol (°C)	pH	Retention Time		Oksigen Terlarut				Suspended Solid			Total Siklus
				SRT	HRT	Aerobik	Anaerobik	Anoksik	Oksik	MLSS	MLVSS		
				(d)	(h)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)		

Tabel 2.2 Contoh Tabel Ringkasan *Cycle time*

Referensi	Jenis Limbah	Efisiensi Penyisihan		Total Siklus (h)	Fill (min)	React (min)	Settle (min)	Decant (min)	Idle (min)	Teknologi pengolahan
		TN	TP							
		(mg/L)	(mg/L)							

2.1.4 Melakukan Kompilasi Kajian untuk Keperluan *Future Research*

Dalam tahap ini hasil kajian dari pokok bahasan akan dikompilasi untuk mendeskripsikan dan merumuskan pokok bahasan. Pokok bahasan yang digunakan yaitu *cycle time* terhadap pengolahan biologis SBR dalam penyisihan TN dan TP sebagai keperluan *Future Research*. Hasil

dari pokok bahasan akan dikompilasi dan ditinjau untuk merumuskan ide penelitian yang layak dan dijadikan acuan sebagai *Future Research*.

2.1.5 Menyusun Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan ditulis untuk memberikan informasi yang diperoleh dari hasil kajian pokok bahasan yang dibahas secara detail. Pokok bahasan tersebut berdasarkan pada tujuan dari penulisan *Literature review* ini. Kesimpulan dari penulisan ini berkaitan dengan *cycle time* pada pengolahan biologis SBR dalam penyisihan TN dan TP.

Saran ditulis untuk memberikan informasi rekomendasi kepada peneliti ataupun penulis laporan selanjutnya sebagai referensi tambahan. Selain itu, saran juga berisi mengenai pengembangan ide penelitian yang dapat dilakukan terkait pengaruh *cycle time* pada pengolahan biologis SBR.

2.1.6 Menuliskan Kajian Literatur

Pada tahap ini dilakukan penulisan secara mendetail dari hasil ringkasan *paper* yang berupa tabel. Penulisan ini mengacu pada rumusan masalah dan tujuan berdasarkan topik bahasan *Literature review*. Penulisan laporan kajian literatur ini dibagi menjadi beberapa pokok bahasan sesuai dengan tujuan *Literature review*.

Pokok bahasan yang dianalisis yaitu pengaruh karakteristik dan kondisi operasi terhadap *cycle time*, pengaruh *cycle time* terhadap pengolahan biologis SBR dalam penyisihan TN dan TP serta merumuskannya *Future Research*.

BAB III

LITERATURE REVIEW

3.1 Nutrien

Nutrien merupakan zat penting untuk pertumbuhan manusia, tumbuhan dan hewan. Nutrien diambil oleh organisme untuk meningkatkan pertumbuhan. Fosfor, nitrogen dan karbon merupakan nutrien yang penting bagi sebagian besar organisme akuatik dan bagi ekosistem perairan (Curtin *et al.*, 2011). Nutrien merupakan salah satu masalah utama yang memberikan dampak negatif terhadap lingkungan perairan (Liu *et al.*, 2019). Peningkatan jumlah nutrien di permukaan air dari aktivitas manusia seperti kegiatan industri yang mengeluarkan limbah menyebabkan berbagai masalah lingkungan (Azhdarpoor *et al.*, 2014; Jena *et al.*, 2020).

Fasilitas pengolahan limbah cair harus memenuhi batas efluen nutrien untuk fosfor, nitrogen, karbon dan berbagai mikronutrien yang ditemukan dalam limbah cair. Aliran yang mengandung nutrien dapat menyebabkan eutrofikasi, mengalirkan aliran beracun yang mengandung amonia dan mengkontaminasi air tanah karena nitrat (Curtin *et al.*, 2011).

1. Eutrofikasi: pengayaan nutrien yang berlebihan dari badan air, menyebabkan peningkatan pertumbuhan alga dan tanaman berakar.
 - a. Percepatan pertumbuhan alga dan tanaman berakar dapat mengurangi oksigen terlarut dalam air jika alga mati dan membusuk.
 - b. Nitrogen dan fosfor adalah dua komponen yang diperlukan untuk mengendalikan eutrofikasi.
 - c. Dengan mengendalikan nutrien yang membatasi pertumbuhan (yaitu fosfor atau nitrogen, atau keduanya), eutrofikasi dapat dikelola (Chen *et al.*, 2012; Brown *et al.*, 2005).
2. Aliran beracun karena mengandung amonia: bentuk molekul amonia nitrogen yang tidak terionisasi yang beracun bagi ikan dan kehidupan akuatik lainnya.

Efek keracunan amonia dapat bersifat akut (kematian ikan) atau kronis (efek pada reproduksi atau kesehatan) (Curtin *et al.*, 2011; Brown *et al.*, 2005). Konsentrasi amonia yang tidak terionisasi (0,1 hingga 10 mg/L) menghasilkan toksisitas akut untuk spesies ikan (USEPA, 2013).

3. Kontaminasi nitrat terhadap air tanah: sistem pengolahan limbah cair yang berpotensi untuk dibuang ke air tanah juga berpotensi mencemari air tanah dengan nitrat.
 - a. Nitrat dapat dibuat dari debit amonia; amonia nitrifikasi di tanah.
 - b. Nitrat adalah masalah kesehatan masyarakat, menyebabkan *methemoglobinemia* (sindrom bayi biru), yang mengakibatkan mati lemas (Curtin *et al.*, 2011; Brown *et al.*, 2005).

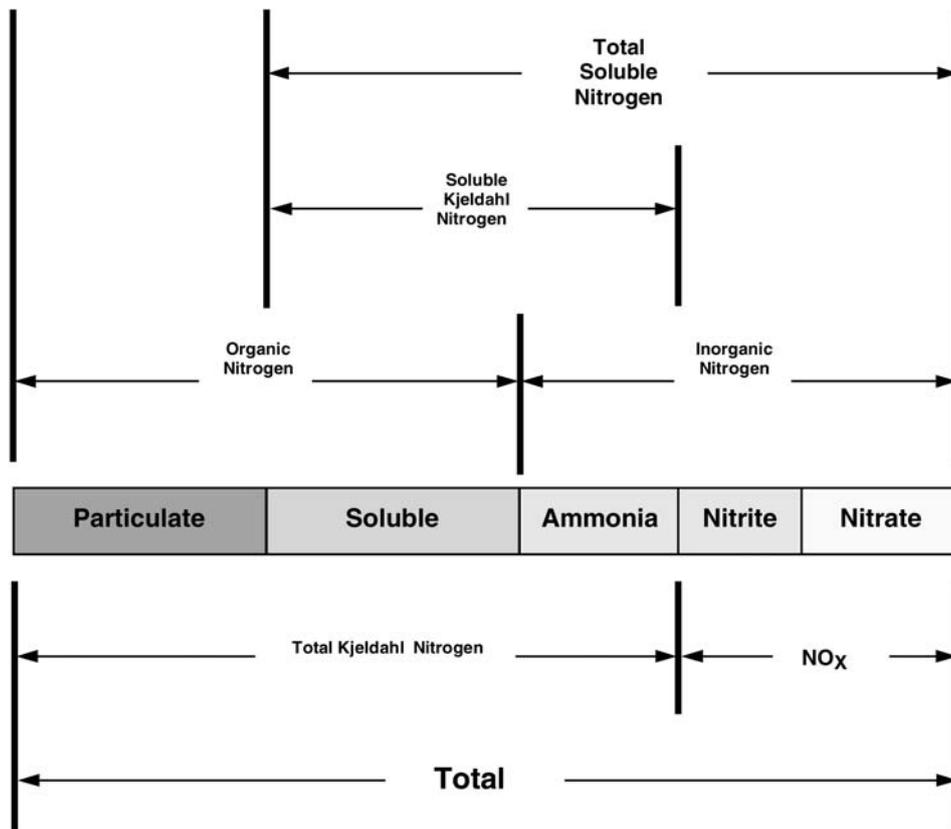
Penyisihan nutrisi dalam limbah cair penting untuk menurunkan kebutuhan oksigen dalam menerima aliran, melindungi ekosistem air dan menghilangkan eutrofikasi juga melindungi kesehatan manusia (Brown *et al.*, 2005). Nutrien yang dikeluarkan secara berlebihan dari industri bersama dengan limbah adalah salah satu penyebab terjadinya eutrofikasi (Jena *et al.*, 2020). Ada beberapa sumber limbah nutrisi seperti, dari industri (susu, pupuk, tekstil dan farmasi), rumah sakit, buangan Rumah Potong Hewan (RPH), lindi, limbah sintetis dan sayur organik (Jena *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2019; Patil *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2019; Luo *et al.*, 2018; Chen *et al.*, 2012; Haque, 2017; Jena *et al.*, 2013, Darmayanti, 2011; Chen *et al.*, 2013; Alfiah dan Sinatria, 2017).

3.2 Nitrogen (N)

Nitrogen dan fosfor adalah nutrisi penting untuk pertumbuhan organisme hidup (Brown *et al.*, 2005). Nitrogen merupakan senyawa yang sangat penting baik bagi tumbuhan maupun hewan. Senyawa ini juga merupakan komponen dasar protein yang keberadaannya di perairan digunakan untuk memproduksi sel oleh hewan dan tumbuh-tumbuhan (Marsidi dan Herlambang, 2002).

Sekitar 80 persen atmosfer bumi terdiri dari nitrogen. Kombinasi antara amonia yang merupakan bentuk nitrogen anorganik dan nitrogen organik adalah Total Kjeldahl Nitrogen (TKN). Total nitrogen (TN) terdiri dari jumlah amonia dan nitrogen organik ditambah bentuk nitrogen teroksidasi (nitrit dan nitrat). Nitrat adalah produk dari proses nitrifikasi di mana amonia dioksidasi menjadi nitrat. Amonia yang larut, ada dalam kesetimbangan baik sebagai molekul amonia (NH_3) maupun sebagai amonia dalam bentuk ion amonium (NH_4^+) (Brown *et al.*, 2005).

Total nitrogen dalam limbah cair domestik biasanya berkisar antara 20 hingga 70 mg/L untuk limbah cair berkekuatan rendah hingga tinggi (Tchobanoglous *et al.*, 2003). Total nitrogen terdiri dari 60 persen adalah amonia dan 40 persen adalah nitrogen organik (Brown *et al.*, 2005; Curtin *et al.*, 2011). Bentuk-bentuk nitrogen seperti TKN dan TN dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Bentuk Nitrogen

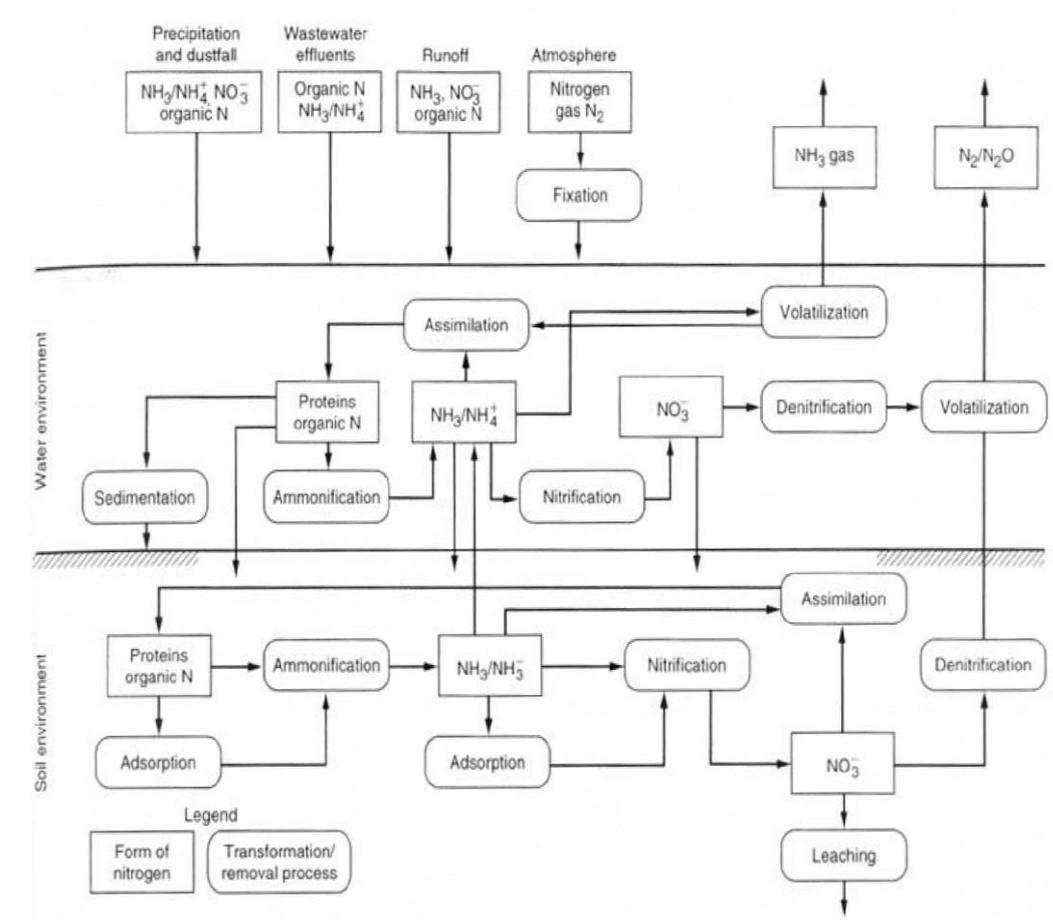
Sumber : Brown *et al.*, 2005

Sumber utama nitrogen adalah dari tumbuhan, hewan dan manusia (bahan tanaman yang membusuk, kotoran hewan dan manusia); industri dan pertanian; dan atmosfer. Senyawa nitrogen dalam limbah manusia dan hewan dikaitkan dengan protein dan asam nukleat. Amonia terbentuk sebagai hasil dekomposisi protein dan asam nukleat. Bentuk nitrogen yang paling umum dalam limbah cair adalah amonia (NH_3), ion amonium (NH_4^+), nitrit (NO_2^-), nitrat (NO_3^-), dan nitrogen organik (Brown *et al.*, 2005; Curtin *et al.*, 2011).

Nitrogen organik yang mudah menguap dilepaskan ke atmosfer selama pembusukan tanaman. Emisi industri dan pembakaran bahan bakar berkontribusi

terhadap gas nitro oksida dan asam nitrat. Banyak bentuk nitrogen digunakan untuk keperluan pertanian sebagai pupuk. Senyawa nitrogen yang umum digunakan dalam pupuk adalah urea, amonium fosfat, amonium sulfat, dan amonium nitrat. Endapan atmosfer juga dapat berkontribusi terhadap keseimbangan nitrogen. Kontribusi relatif nitrogen terhadap permukaan air sangat bervariasi tergantung pada demografi Daerah Aliran Sungai (DAS).

Limbah cair perkotaan mengandung amonium dan nitrogen organik, sedangkan beberapa *limbah cair* industri mengandung jumlah nitrat nitrogen yang cukup besar. Nitrogen organik terdiri dari campuran kompleks senyawa amino (NH_2^-), termasuk asam amino dan protein. Nitrogen organik mudah dikonversi menjadi amonium melalui dekomposisi bakteri dalam suatu proses yang disebut amonifikasi. Hidrolisis urea mengubah nitrogen organik menjadi ammonium. Proses yang terjadi biasa disebut siklus nitrogen seperti pada Gambar 3.2. Siklus nitrogen adalah transformasi kimia nitrogen melalui berbagai tahap dekomposisi dan asimilasi (Brown *et al.*, 2005).



Gambar 3.2 Siklus Nitrogen

Sumber : Brown *et al.*, 2005

3.3 Fosfor (P)

Fosfor merupakan unsur yang ada dalam semua makhluk hidup, namun tidak pernah ditemukan dalam bentuk unsur dan sangat tidak stabil keberadaannya (Curtin *et al.*, 2011). Fosfor adalah komponen integral dalam proses metabolisme energi yang digunakan oleh sel. Fosfor juga merupakan kunci komponen dari membran seluler. Fosfor adalah nutrisi penting untuk tanaman dan mikroorganisme (Brown *et al.*, 2005).

Fosfor ditemukan dalam pupuk rumput, pupuk kandang, deterjen, dan produk pembersih rumah tangga, serta limbah manusia dan hewan. Air permukaan menerima fosfor dari buangan domestik dan industri dan limpasan alami. Ada berbagai jenis fosfor dalam limbah cair yang meliputi ortofosfat, polifosfat dan fosfat yang terikat secara organik. Ortofosfat dapat dalam bentuk asam fosfat (H_3PO_4), dihidrogen fosfat ($\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$), hidrogen fosfat (HPO_4^{2-}) dan ion fosfat (PO_4^{3-}) (Brown *et al.*, 2005; Curtin *et al.*, 2011).

Konsentrasi ortofosfat dalam *limbah cair* mengacu pada jumlah semua spesies ortofosfat. Bentuk ortofosfat adalah bentuk fosfor paling sederhana dan menyumbang 70 hingga 90% dari *Total Phosphorus* (TP). Dengan konvensi, semua jumlah yang diukur dilaporkan sebagai fosfor dan bukan sebagai fosfat. Konsentrasi fosfor dihitung dengan membagi nilai PO_4 sekitar 3. Misalnya, jika *limbah cair* mengandung 10 mg/L fosfor, maka kandungan fosfat sekitar 30 mg/L (Brown *et al.*, 2005). Kandungan fosfor pada limbah cair biasanya memiliki konsentrasi 5 – 9 mg/L (Curtin *et al.*, 2011).

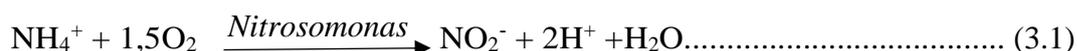
Polifosfat dapat dikonversi menjadi ortofosfat melalui reaksi hidrolisis, yang umumnya lambat. Dalam pengolahan limbah cair konvensional, tanpa penyisihan fosfor secara biologis, sekitar 5 hingga 10% fosfor dihilangkan selama pengendapan primer dan *clarifier* sekunder. Sekitar 20 hingga 25% fosfor diambil dalam *activated sludge* selama pertumbuhan bakteri. Oleh karena itu, limbah akhir dari pengolahan *limbah cair* konvensional dapat mengandung 3 hingga 4 mg/L fosfor. Fosfat organik umumnya hadir dalam konsentrasi yang lebih rendah pada limbah cair domestik (Brown *et al.*, 2005).

3.3 Biological Nutrient Removal

Biological Nutrient Removal (BNR) merupakan salah satu teknologi yang fokus pada penyisihan nitrogen dan fosfor (Liu *et al.*, 2019). Penyisihan nitrogen secara biologis terdapat dua langkah yang melibatkan proses nitrifikasi dan

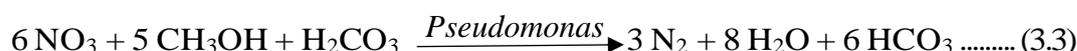
denitrifikasi. Nitrifikasi merupakan proses oksidasi dalam kondisi aerobik untuk mengoksidasi amonia menjadi nitrit, kemudian mengoksidasi nitrit menjadi nitrat (Curtin *et al.*, 2011).

Nitrifikasi dilakukan oleh bakteri autotrofik nitrifikasi yang merupakan aerob obligat seperti bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* seperti pada persamaan 3.1 dan 3.2 (Curtin *et al.*, 2011; Singh dan Srivastava, 2010).



Denitrifikasi adalah proses reduksi yang terjadi tanpa adanya oksigen dalam kondisi anoksik. Denitrifikasi dilakukan oleh bakteri heterotrof (*Pseudomonas*), yang dapat memanfaatkan nitrat sebagai pengganti oksigen di bawah kondisi anaerob/ anoksik (Curtin *et al.*, 2011; Singh dan Srivastava, 2010).

Denitrifikasi adalah proses untuk mereduksi nitrat menjadi nitrat oksida, dinitrogen oksida dan gas nitrogen. Contoh proses denitrifikasi dengan menggunakan methanol sebagai sumber karbon seperti pada persamaan 3.3.



Kombinasi antara nitrifikasi dan denitrifikasi dapat diklasifikasikan dalam berbagai cara termasuk *fixed* maupun *suspended growth, flow regime, staging of process* dan metode aerasi. Proses yang terjadi dalam BNR ini adalah mulai dari nitrifikasi dan denitrifikasi secara bergantian tergantung pada berapa siklus yang direncanakan. Nitrifikasi harus diselesaikan setidaknya sebagian, sebelum denitrifikasi dapat dicapai. Selain dari pengaruh kondisi luar yang secara negatif

mempengaruhi kinerja, seperti *dissolved oxygen recycle* dan senyawa beracun, ada tiga parameter yang dapat membatasi denitrifikasi dan penyisihan total nitrogen. Parameter tersebut yaitu nitrat, *Carbonaceous Biological Oxygen Demand* (CBOD) dan kapasitas denitrifikasi.

Suspended growth dapat digunakan dalam proses nitrifikasi dan denitrifikasi. *Suspended growth* menyeimbangkan jumlah biomassa dalam reaktor. Beberapa pengolahan *suspended growth* yaitu *Wuhrmann Process*, *Modified Ludzack-Ettinger Process* (MLE), *Bardenpho Process (Four-Stage)*, *Sequencing Batch Reactors* (SBR) dan *Oxidation Ditch Processes* (Brown *et al.*, 2005).

Dari beberapa pengolahan *Suspended growth*, SBR telah terbukti menjadi alternatif yang layak untuk sistem aliran kontinu dalam BNR (Singh dan Srivastava, 2010). SBR konvensional menghasilkan kinerja nitrifikasi yang lebih baik daripada proses MLE (Tam *et al.*, 2004). SBR dalam BNR menggunakan anaerob, anoksik dan aerob dalam satu tangki selama siklus pengolahan (Azhdarpoor *et al.*, 2014). SBR telah digunakan secara luas untuk menyisihkan COD, fosfat dan nitrogen dari air limbah, dengan biaya operasional yang rendah daripada proses BNR lainnya (Uygur dan Kargi, 2004; Murat *et al.*, 2002).

3.4 Sequencing Batch Reactor (SBR)

Sequencing batch reactor (SBR) merupakan salah satu pengolahan biologis untuk menyisihkan nutrisi. Nutrien yang terdiri dari nitrogen (N) dan fosfor (P) dapat menyebabkan masalah salah satunya yaitu eutrofikasi. Eutrofikasi merupakan proses pengayaan nutrisi yang berlebihan dari badan air, sehingga menyebabkan peningkatan pertumbuhan alga dan tanaman berakar (Chen *et al.*, 2012). SBR adalah modifikasi dari proses lumpur aktif, yang telah berhasil mengolah limbah cair perkotaan dan industri (Durai *et al.*, 2011). SBR merupakan proses pengolahan intermiten (Dohare dan Kawalre, 2014). Pada dasarnya

pengolahan ini mencakup berbagai proses biokimia dari kondisi aerobik, anoksik dan anaerobik.

SBR memiliki beberapa kondisi fase pengolahan yang menggabungkan beberapa fase didalamnya seperti, Anoksik–Aerobik (AnA-SBR), Anaerobik-Anoksik-Aerobik (AOA-SBR), Anoksik-*Oxic*, Anaerobik-*Oxic* (A/O-SBR) dan Anaerobik-Anoksik (AA-SBR). SBR merupakan *basic suspended growth* dari reaktor pengolahan limbah cair biologis. Reaksi metabolisme dan pemisahan padat-cair terjadi dalam satu tangki dan dalam urutan waktu yang direncanakan dan terus menerus diulang (Singh dan Srivastava, 2010).

SBR adalah sistem pengolahan yang sangat fleksibel, relatif murah, dan sangat efektif untuk fasilitas pengolahan berukuran kecil hingga menengah. Variasi durasi fase aerasi dan non aerasi dari siklus dapat memberikan fleksibilitas untuk pemindahan nitrogen dan fosfor yang optimal (Brown *et al.*, 2005). SBR dapat dimodifikasi dan diterapkan untuk berbagai jenis aplikasi pengolahan limbah cair karena keunggulannya. SBR memiliki fleksibilitas dan stabilitas operasional yang tinggi dan efektif dalam penyisihan nutrisi (Liu *et al.*, 2019). SBR juga memiliki struktur yang sederhana, dimana bak ekuilibrasi, *clarifier* primer, pengolahan biologis, dan *clarifier* sekunder dapat terjadi dalam satu wadah reaktor (Liu *et al.*, 2019; USEPA, 1999).

3.5 Kondisi Operasi Pengolahan SBR

Kondisi operasi pengolahan SBR yang digunakan untuk menyisihkan TN dan TP diuraikan pada sub bab ini. Kondisi yang mempengaruhi kinerja SBR yaitu:

1. Temperatur

Peningkatan temperatur/suhu akan memiliki beberapa efek pada eutrofikasi. Peningkatan suhu air dapat menyebabkan perluasan rentang spesies yang tidak diinginkan. Temperatur yang lebih tinggi dapat menyebabkan peningkatan pertumbuhan alga yang berlebihan. Hal ini juga berpotensi

menyebabkan peningkatan gangguan (pertumbuhan racun). Suhu reaktor cenderung berbeda secara signifikan dari suhu influen karena aerasi (USEPA, 2010).

Pertumbuhan *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* sangat sensitif terhadap suhu tempat mereka hidup. Suhu rendah dapat secara signifikan mengurangi tingkat nitrifikasi. Untuk kisaran tipikal antara 10-25°C, laju akan turun setengahnya untuk setiap pengurangan 8-10°C dalam suhu *mixed liquor*. Nitrifikasi telah terbukti terjadi pada suhu *limbah cair* dari 4-45°C dengan tingkat pertumbuhan optimal terjadi pada kisaran suhu 35-42°C. Sebagian besar instalasi pengolahan *limbah cair* beroperasi dengan suhu antara 10-25°C. Secara umum diakui bahwa laju nitrifikasi berlipat ganda untuk setiap kenaikan suhu 8-10°C (Brown *et al.*, 2005; USEPA, 2010).

Pada penelitian Liu *et al.*, (2019) menyebutkan kondisi fase AOA-SBR dapat menyisihkan N dan P dengan suhu $28 \pm 3^\circ\text{C}$. Sedangkan pada penelitian Li *et al.*, (2019) berhasil menyisihkan fosfor dengan suhu $10 \pm 1^\circ\text{C}$. Penelitian yang dilakukan oleh Luo *et al.*, (2018) dengan suhu $21 \pm 1^\circ\text{C}$ dapat menyisihkan TN dan TP. Pada penelitian Jena *et al.*, (2020) dapat menyisihkan N dan P dalam limbah industri pupuk fosfat dan Limbah cair pabrik susu dalam suhu 30-35°C.

Menurut Haque (2017), dalam menyisihkan nitrat pada limbah cair rumah sakit dalam penelitiannya menggunakan suhu antara 5-30°C. Pada penelitian Darmayanti, (2011) menggunakan suhu 25°C untuk limbah cair buangan RPH. Perbedaan suhu dari suhu rendah ke suhu tinggi tentu saja menjadi perbedaan pada waktu siklus yang digunakan. Penelitian Chen *et al.*, (2013) membuktikan *septic tank* dapat menyisihkan TN dalam suhu $23 \pm 3^\circ\text{C}$. Penelitian Sombatsompop *et al.*, (2011) juga menyisihkan TN dalam suhu $27 \pm 2^\circ\text{C}$. Penelitian Rio *et al.*, (2012) menyisihkan TN dalam suhu 15-20. Penelitian Alzatemarin (2016) menyisihkan dalam suhu $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

2. pH

Pengaruh pH sangat penting untuk pengoperasian SBR yang efektif. pH harus dijaga agar tidak berada di bawah 7,0 di dalam bak reaktor. Berdasarkan karakteristik air limbah, hal yang harus dipertimbangkan dengan hati-hati yaitu pH (NEIWPC, 2005). pH adalah variabel penting dalam setiap proses pengolahan biologis. pH juga merupakan parameter penting untuk nitrifikasi. Proses nitrifikasi menghasilkan asam apabila tidak ada alkalinitas yang cukup dalam air limbah, akan menurunkan pH. Hal ini dapat menyebabkan menghambat organisme dalam proses nitrifikasi. pH optimal (7-8) dapat digunakan untuk mempertahankan nitrifikasi yang mendekati pada suhu rendah (10-25°C) (USEPA, 2010).

Faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam kinerja proses nitrifikasi adalah pH. Nitrifikasi membutuhkan alkalinitas untuk proses oksidasi, artinya nilai alkalinitas akan turun. Penurunan alkalinitas mengakibatkan penurunan juga pada pH, sehingga dapat mempengaruhi kinerja dari nitrifikasi (NEIWPC, 2005). Perubahan pH yang signifikan terbukti mengganggu kinerja nitrifikasi, walaupun pada aklimatisasi dengan pengendalian pH dalam kisaran 6,5-8 dapat memberikan kinerja yang baik (Brown *et al.*, 2005). Untuk denitrifikasi dalam penyisihan fosfor secara biologis, nilai pH dapat digunakan sebagai parameter kontrol (Dohare dan Kawale, 2014).

Pada penelitian Liu *et al.*, (2019) pH limbah cair influen disesuaikan menjadi 7,0 menggunakan HCl dan NaOH. Sedangkan penelitian Luo *et al.*, (2018) nilai pH tidak diatur dan bervariasi antara 7,0- 7,5. Penelitian yang dilakukan Jena *et al.*, (2020) sebelum menambahkan limbah ke SBR, pH untuk limbah cair PPL diubah ke $7 \pm 0,5$ dengan penambahan 1N NaOH. Pada limbah cair DW, pH dirubah dari 5,2 ke 7,2-7,5 dengan penambahan 1N NaOH. Pada akhir siklus, pH dari limbah cair pupuk fosfat dan susu

dinaikkan menjadi masing-masing $8,2 \pm 0,3$ dan $7,87 \pm 0,22$. Penelitian Haque, (2017) menjelaskan proses nitrifikasi menggunakan pH antara 7,5-8,5 dapat berjalan secara optimal. Sama halnya dengan penelitian yang dilakukan Jena *et al.*, (2016) pH awal siklus dipertahankan pada 7,0, kemudian dilakukan pengamatan peningkatan pH hingga kisaran setinggi 8–8,5.

Penelitian Darmayanti (2011) menggunakan pH 6,5-8,5 untuk mengelola limbah air buangan RPH. Penelitian Chen *et al.*, (2013) menggunakan pH 7,0 untuk mengelola limbah *septic tank*. Penelitian Kusmierczak *et al.*, (2012) menggunakan pH 7,2. Penelitian Sombatsompop *et al.*, (2011) menggunakan pH $7,5 \pm 0,5$. Penelitian Rio *et al.*, (2012) mengelola limbah industri pengalengan ikan, pengolahan hasil laut dan peternakan babi menggunakan pH masing-masing 6,6-7,5, 6,0-7,4 dan 7,2-7,9. Penelitian Alzatamarin (2016) menggunakan pH masing-masing $7,0 \pm 0,1$ dan $7,5 \pm 0,1$.

3. Oksigen Terlarut

Oksigen Terlarut/ *Dissolved Oxygen* (DO) adalah parameter kontrol utama dalam mencapai penyisihan nutrien. Hal ini bisa menjadi indikator aktivitas biologis yang baik, terutama nitrifikasi. Pengendalian DO yang kurang akurat dapat menyebabkan nitrifikasi dan penyisihan fosfor yang tidak memadai (USEPA, 2010). Pertumbuhan bakteri nitrifikasi hanya dapat berfungsi dalam kondisi aerob. Konsentrasi oksigen terlarut dapat memiliki efek signifikan pada laju pertumbuhan bakteri nitrifikasi. Secara umum nitrifikasi bisa terjadi pada konsentrasi oksigen terlarut yang lebih besar dari 2,0 mg/L (Brown *et al.*, 2005). Oksigen terlarut harus dipantau selama fase anoksik sehingga tidak melebihi 0,2 mg/L (NEIWPC,2005).

Konsentrasi DO pada penelitian Liu *et al.*, (2019) dipertahankan kurang dari 0,5 mg/L (anaerobik), 2,0-3,0 mg/L (aerobik) dan 0,5-1,0 mg/L (anoksik). Pada penelitian Luo *et al.*, (2018) selama fase aerobik, oksigen terlarut

(DO) dikendalikan pada $2,1 \pm 0,1$ mg/L. Penelitian yang dilakukan Li *et al.*, (2019) selama periode pertama (0-60 hari), 300-400 mL/menit udara disuplai untuk meningkatkan pertumbuhan bakteri nitrifikasi autotrofik. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan kinerja penghilangan amonia. Pada periode kedua (60-120 hari), laju aerasi menurun untuk menciptakan lingkungan DO yang terbatas. Hal itu terbukti terjadi pada 3 jam pertama dari tahap aerobik, di mana DO dijaga di bawah 1,0 mg/L. Pada penelitian Azhdarpoor *et al.*, (2014) nilai DO siklus aerobik adalah sekitar 2,5-3,5 mg/L dan untuk siklus anoksik sekitar 0-0,2 mg/L dan semua percobaan dilakukan pada suhu ruangan. Penelitian Darmayanti (2011), oksigen terlarut dalam fase aerobik dikendalikan pada $> 3,0$ mg/L. Penelitian Rio *et al.*, (2012), oksigen terlarut dalam fase aerobik dikendalikan antara 4-8 mg/L. Penelitian Xu *et al.*, (2013), oksigen terlarut dalam fase oksik dikendalikan antara 2-5 mg/L. Penelitian Alzatamarin (2016), oksigen terlarut dalam fase anoksik-aerobik SBR dikendalikan masing-masing $1,6 \pm 0,3$ mg/L dan $5,5 \pm 1,2$ mg/L.

4. *Retention time*

Kondisi lingkungan yang tidak membatasi pertumbuhan, jumlah atau massa dari bakteri nitrifikasi yang tumbuh dalam sistem akan menjadi fungsi dari beban amonia yang diterapkan. Dengan demikian, dapat mengakibatkan peningkatan amonia pada efluen. Hal ini dikarenakan *Hydrolic Retention time* (HRT) yang berkurang secara signifikan atau peningkatan beban polutan pada variasi aliran dan beban nitrogen ke sistem. HRT yang pendek, lebih mungkin mengalami pengurangan efisiensi pada proses ini. HRT yang lebih lama, lebih kecil kemungkinannya untuk mengalami peningkatan kadar amonia efluen karena variasi aliran dan beban amonia yang rendah (Brown *et al.*, 2005).

Sludge Retention time (SRT) adalah rasio massa padatan pada aerasi dibagi dengan padatan yang keluar dari sistem lumpur aktif per hari. Padatan yang keluar sama dengan massa padatan yang terbuang dari sistem ditambah

massa padatan dalam limbah. Nilai SRT sangat penting untuk proses pemindahan nutrisi pada pengolahan biologis SBR. SRT untuk sistem nitrifikasi harus didasarkan pada waktu siklus selama aerasi, bukan seluruh waktu siklus (NEIWPC, 2005). SBR memiliki fleksibilitas yang besar dan kinerja yang baik ketika *Sludge Retention time* (SRT) lebih dari 20 hari (Brown *et al.*, 2005).

SRT pada penelitian Liu *et al.*, (2019) ini bervariasi dari 25 hingga 12 hari karena waktu siklus berkurang. Untuk setiap siklus pada penelitian Luo *et al.*, (2018), sekitar 3L supernatan ditarik. SRT pada penelitian ini dikontrol di sekitar 20 hari. Pada penelitian Li *et al.*, (2019), setiap siklus setelah periode pengendapan sebanyak 2,5 L limbah cair yang diolah dibuang. HRT yang dihasilkan yaitu 12 jam. Pada akhir tahap aerobik, sebanyak 200 mL *mixed liquid* dibuang setiap hari untuk menjaga nilai SRT konstan pada 25 hari. Pada penelitian Jena *et al.*, (2016) menghasilkan HRT 24 jam dan SRT sekitar 20 hari. Penelitian Kusmierczak *et al.*, (2012), memiliki nilai SRT 8 hari dan HRT 12 jam. Pada penelitian Sombatsompop *et al.*, (2011), memiliki nilai SRT 10 hari dan HRT 18 jam.

5. *Suspended solid*

Sludge yang digunakan pada penelitian Liu *et al.*, (2019) sebagai pembenihan didapatkan dari pengolahan limbah cair Zhengdong New District Henan, China. Lumpur yang diperoleh dari reaktor pada akhir setiap kondisi operasi setelah operasi stabil pada siklus 0, 20, 67, 116, 160 dan 252 kali. Konsentrasi *Mixed Liquor Suspended solid* (MLSS) yaitu 5.380 ± 430 mg/L dan *Mixed Liquor Volatile Suspended solid* (MLVSS) sebanyak 4.200 ± 310 mg/L. Pada penelitian Luo *et al.*, (2018), lumpur yang berasal dari *secondary clarifier* instalasi pengolahan limbah cair kota lokal yang berlokasi di Xi'an, Cina. MLSS yang terdapat pada pengolahan berkisar

antara 3.000-3.500 mg/L. Sedangkan penelitian yang dilakukan Li *et al.*, (2019) lumpur pembibitan diperoleh dari SBR yang ada di pabrik pengolahan limbah cair kota di kota Langfang, Provinsi Hebei Cina. MLSS yang terdapat pada pengolahan yaitu 3.000 mg/L.

Pada penelitian Jena *et al.*, (2016), *Total Suspended solid* (TSS) diamati berada dalam kisaran 5.100-6.900 mg/L dan 5.400-7.300 mg/L pada akhir akhir fase anoksik panjang dan fase aerobik pendek. Demikian pula rata-rata *Volatile Suspended solid* (VSS) reaktor adalah 2.060-2.260 mg/L selama fase anoksik yang diamati lebih rendah daripada fase aerob yang ditemukan 3.590 mg/L (rata-rata). Sedangkan penelitian Zhao *et al.*, (2016) lumpur dikumpulkan dari proses A2 / O Beijing Gaobeidian *Sewage Treatment Plant* (China), dimana penghilangan nitrogen biologis dan penghilangan fosfor kimia berhasil dilakukan. SRT A2SBR selama 12 hari dan konsentrasi MLSS berkisar antara 2.000-2.500 mg/L.

Pada penelitian Chen *et al.*, (2012) terdapat konsentrasi MLSS yaitu 5.500 mg/L dan MLVSS 5.000-7.000 mg/L. Penelitian Jena *et al.*, (2020) menggunakan lumpur (*activated sludge*) dari reaktor penelitian Jena *et al.*, (2016). MLSS dari pengolahan yaitu 5.800-6.200 mg/L dan MLVSS 3.450-3.580 mg/L. Penelitian Haque (2017) menggunakan lumpur aktif dari RAS (*Return Activated Sludge*) unit *Clarifier IPLT* Keputih, Sukolilo–Surabaya. MLSS yang terdapat pada pengolahan yaitu 3.600-4.300 mg/L. Penelitian Alfiah dan Sinatria (2017) menggunakan lumpur aktif dari IPAL SIER Surabaya. MLSS yang terdapat pada pengolahan yaitu 1.624-2.040 mg/L. Penelitian Chen *et al.*, (2013) menggunakan lumpur dari pemukiman Changsha, PR China. MLSS yang terdapat pada pengolahan yaitu 3.785-4.490 mg/L dan MLVSS 2.796-3.197 mg/L. Penelitian Faouzi *et al.*, (2013) menggunakan

lumpur dari instalasi pengolahan air limbah Akkrache di Rabat, Maroko. MLSS yang terdapat pada pengolahan yaitu 3.000-6.000 mg/L.

Penelitian Kusmierczak *et al.*, (2012), menggunakan lumpur dari pengolahan air limbah kota setempat. MLSS yang terdapat pada pengolahan yaitu 8.000 mg/L. Penelitian Sombatsompop *et al.*, (2011), menggunakan lumpur aktif dari pabrik pengolahan air limbah Bangkok. MLSS yang terdapat pada pengolahan yaitu 3.000 mg/L. Penelitian Rio *et al.*, (2012), menggunakan lumpur aktif dari pabrik pengolahan air limbah Bangkok. MLVSS yang terdapat pada pengolahan masing-masing 5.000 mg/L pada industri susu dan 10.000 pada industri pengalengan ikan, hasil laut dan peternakan babi. Penelitian Xu *et al.*, (2013), menggunakan lumpur aktif dari pabrik pengolahan air limbah Changsa. MLVSS yang terdapat pada pengolahan yaitu 2.970 ± 29 mg/L dan 3.007 ± 23 mg/L. Dari beberapa data tersebut diringkas dalam bentuk tabel. Data ringkasan *literature review* dalam penyisihan TN dan TP dapat dilihat pada dalam Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Ringkasan SBR dalam Penyisihan TN

Referensi	Jenis Limbah	Pokok Bahasan											Teknologi pengolahan	
		Influen Limbah	Suhu Kontrol	pH	Retention Time		Oksigen Terlarut				Suspended Solid			Total Siklus
		TN			SRT	HRT	Aerobik	Anaerobik	Anoksik	Oksik	MLSS	MLVSS		
		(mg/L)	(°C)	(hari)	(jam)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)			
Liu et al., 2019	<i>Synthetic wastewater</i>	28-32	28 ± 3	7,0	25 - 12	-	2,0 - 3,0	0,5	0,5 - 1,0	-	5380 ± 430	4200 ± 310	72	AOA (AnAeAnox) - SBR
						13,6							12	
						8,9							8	
						8,9							8	
						6,2							6	
						4							4	
Luo et al., 2018	<i>Synthetic wastewater</i>	30	21 ± 1	7,0 - 7,5	20	-	2,1 ± 0,1	-	-	-	3000-3500	-	6	Anoxic- Aerobic SBR
Chen et al., 2012	<i>Synthetic wastewater</i>	100**	-	-	-	-	-	-	-	1,6	5500	5000-7000	6	Anoxic-Oxic
Li et al., 2019	<i>Synthetic wastewater</i>	50	10 ± 1	-	25	12	-	-	-	<1,0	3000	-	6	SBR
Jena et al., 2020	Limbah industri pupuk fosfat	1200-1350	30-35	7 ± 0,5	-	-	-	-	-	-	5800-6200	3450-3580	13	AnA SBR
	Limbah cair dari pabrik susu	1000-1100		7,2 - 7,5	-	-	-	-	-	-				
Haque, 2017	Limbah Cair Rumah Sakit	58,18	5-30	7,5 - 8,5	20	12	-	-	-	-	3600-4300	-	8	SBR
													10	
Jena et al., 2016	<i>Synthetic wastewater</i>	1000*	-	7,0-8,5	20	24	-	-	-	-	5100-7300	2060-3590	24	LASA- SBR
Alfiah dan Sinatria, 2017	Lindi	1013	-	-	-	-	-	-	-	-	1624-2040	-		Aerob- SBR

Keterangan : * (nitrat)

** (amonia)

Lanjutan Tabel Ringkasan SBR dalam Penyisihan TN

Darmayanti, 2011	Limbah Air Buangan RPH	615,42**	25	6,5-8,5	-	-	>3	-	-	-	-	-	-	-	Aerob-SBR		
		709,87**															
		537,04**															
Chen et al., 2013	<i>Septic tank effluent</i>	20-40**	23 ± 3	7	10	-	-	-	-	-	3785-4490	2796-3197	-	-	Aerobik-Anoxic-SBR		
Faouzi et al., 2013	Limbah Penyamakan Kulit	20	-	-	-	-	-	-	-	-	3000-6000	-	-	-	Aerobik SBR		
		20															
Kusmierczak et. al., 2012	<i>Synthetic wastewater</i>	30**	-	7,2	8	12	-	-	-	-	8000	-	-	-	Aerobik granul SBR		
Sombatsompop et. al., 2011	Limbah Kandang Babi	300-500	27 ± 2	7,5 ± 0,5	10	18	-	-	-	-	3000	-	-	-	Aerobik SBR		
Rio et. al., 2012	Limbah Industri Susu	25-185**	15-20		-	-	4-8	-	-	-	-	-	-	-	-	Aerobik SBR	
	Limbah Industri Pengalengan Ikan	40-70**		6,6-7,5													5000
	Limbah Industri Pengolahan Hasil Laut	50-150**		6,0-7,4													10000
	Limbah Peternakan Babi	70-220**		7,2-7,9													10000
Xu et al., 2013	<i>Synthetic wastewater</i>	20**	-	-	-	-	-	-	-	2-5	-	-	-	-	-	SOA SBR	
		40**															2970 ± 29
Alzatamarin 2016	<i>Synthetic wastewater</i>	40	25 ± 0,5	7,0 ± 0,1	-	-	1,6 ± 0,3	-	0	-	-	-	-	-	-	-	SBR
		80		7,5 ± 0,1			5,5 ± 1,2		0								

Keterangan : * (nitrat)

** (amonia)

Tabel 3.2 Ringkasan SBR dalam Penyisihan TP

Referensi	Jenis Limbah	Pokok Bahasan											Teknologi pengolahan	
		Influen Limbah TP (mg/L)	Suhu Kontrol (°C)	pH	Retention Time		Oksigen Terlarut				Suspended Solid			Total Siklus
					SRT	HRT	Aerobik	Anaerobik	Anoksik	Oksik	MLSS	MLVSS		
					(hari)	(jam)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)		
Liu et al., 2019	<i>Synthetic wastewater</i>	4,3-4,7	28 ± 3	7,0	25 - 12	- 13,6 8,9 8,9 6,2 4	2,0 - 3,0	0,5	0,5 - 1,0	-	5380 ± 430	4200 ± 310	72 12 8 8 6 4	AOA (AnAeAnox) - SBR
Luo et al., 2018	<i>Synthetic wastewater</i>	8	21 ± 1	7,0 - 7,5	20	-	2,1 ± 0,1	-	-	-	3000-3500	-	6	Anoxic- Aerobic SBR
Li et al., 2019	<i>Synthetic wastewater</i>	10	10 ± 1	-	25	12	1,0	-	-	-	3000	-	6	SBR
Jena et al., 2020	Limbah industri pupuk fosfat	100	30-35	7 ± 0,5	-	-	-	-	-	-	5800-6200	3450-3580	13	AnA SBR
	Limbah cair dari pabrik susu	32-38		7,2 - 7,5	-	-	-	-	-	-				
Haque, 2017	Limbah Cair Rumah Sakit	11,86	5-30	7,5 - 8,5	20	12	-	-	-	-	3600-4300	-	8 10	SBR
Jena et al., 2016	<i>Synthetic wastewater</i>	-	-	7,0-8,5	20	24	-	-	-	-	5100-7300	2060-3590	24	LASA- SBR
Chen et al., 2013	<i>Septic tank effluent</i>	2-8	23 ± 3	7	10	-	-	-	-	-	3785-4490	2796-3197	-	Aerobik-Anoxic- SBR
Faouzi et al., 2013	Limbah Penyamakan Kulit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3000-6000	-	-	Aerobik SBR
Kusmierczak et. al., 2012	<i>Synthetic wastewater</i>	-	-	7,2	8	12	-	-	-	-	-	-	-	Aerobik granul SBR
Alzatamarin 2016	<i>Synthetic wastewater</i>	20	25 ± 0,5	7,0 ± 0,1	-	-	1,6 ± 0,3	-	0	-	-	-	-	-
		40		7,5 ± 0,1			5,5 ± 1,2		0					

Keterangan : * (nitrat)

** (amonia)

3.6 Cycle time

Cycle time merupakan salah satu desain parameter dari pengolahan SBR (USEPA, 1999). *Cycle time* merupakan waktu siklus dari unit pengolahan dengan sistem *batch*. Pengoperasian SBR dapat terjadi dalam 2 hingga 4 siklus per hari, untuk pengolahan limbah domestik menggunakan SBR dapat dilakukan dalam 4 hingga 6 siklus per hari (Riffat, 2013 ; Brown *et al.*, 2005). Pada limbah industri durasi dari *cycle time* dapat berkisar antara 4 – 24 jam per siklus (USEPA, 1999).

Pengolahan SBR terdapat beberapa tahap dalam setiap siklus seperti pada Gambar 3.1. Proses *cycle time* pada pengolahan SBR ini melibatkan lima tahapan berikut:

1) *Fill* (pengisian)

Pada fase pengisian, bak reaktor menerima limbah cair yang masuk sebagai influen. Limbah cair yang masuk ditambahkan ke biomassa pada tangki atau yang tersisa di tangki dari siklus sebelumnya (Haque, 2017). Limbah cair mengandung makanan atau substrat yang dibutuhkan oleh mikroorganisme di dalam lumpur aktif. Hal tersebut akan menciptakan kondisi yang ideal untuk terjadinya reaksi biokimia.

Pengisian dapat disimpan baik dalam kondisi aerasi atau non aerasi tergantung pada karakteristik limbah cair. Panjang periode pengisian tergantung pada jumlah tangki, volume SBR dan laju aliran efluen. Periode berlangsungnya pengisian biasanya selama 25% dari waktu siklus penuh. Perubahan dalam panjang durasi mengisi bisa mengubah produktivitas proses SBR selama optimasi (Singh dan Srivastava, 2010).

Mixing dan aerasi bisa divariasikan selama tahap pengisian dengan tujuan untuk menciptakan tiga kondisi yang berbeda, antara lain:

a. *Static Fill* (Pengisian Statis)

Pada tahap *static fill*, tidak dilakukan proses pengadukan maupun aerasi selama pengisian reaktor oleh limbah cair. *Static fill* tidak akan terjadi

proses nitrifikasi maupun denitrifikasi. *Static fill* juga dapat mengurangi penggunaan energi karena pengaduk (*mixer*) dan aerator berada dalam keadaan mati (Haque, 2017). Pada tahap ini tersedia konsentrasi substrat tinggi sehingga menguntungkan untuk pembentukan flok yang memberikan karakteristik pengendapan yang baik untuk lumpur (Patil *et al.*, 2013).

b. *Mixed Fill* (Pengisian Teraduk)

Pada tahap *mixed fill* dilakukan proses pengadukan tanpa aerasi, pengaduk (*mixer*) tetap menyala tetapi aerator berada dalam keadaan mati. Pengkondisian ini menyebabkan terciptanya kondisi anoksik yang memicu terjadinya proses denitrifikasi (Haque, 2017). Apabila reaktor dalam keadaan tertutup, tidak menutup kemungkinan terciptanya kondisi anaerobik yang akan menyebabkan terlepasnya senyawa fosfor selama tahap pengisian teraduk ini (Patil *et al.*, 2013).

c. *Aerated Fill* (Pengisian Teraerasi)

Pada tahap *aerated fill* terdapat dilakukan proses aerasi dan pengadukan selama pengisian limbah cair influen ke dalam reaktor. Pengkondisian ini menyebabkan tercipta kondisi yang sepenuhnya aerobik. *Aerated fill* akan memicu terjadinya proses nitrifikasi maupun penurunan zat organik (Haque, 2017). Tahap ini mengurangi waktu aerasi yang diperlukan dalam langkah reaksi (Patil *et al.*, 2013).

2) *React* (reaksi)

Selama fase ini aliran limbah cair ke tangki dibatasi, sementara proses aerasi dan pencampuran berjalan terus (Patil *et al.*, 2013). Waktu yang digunakan untuk bereaksi dapat melebihi 50% dari total waktu siklus. Pengolahan dikendalikan melalui ketersediaan oksigen, baik *on* atau *off*, untuk menghasilkan kondisi anaerobik, anoksik atau aerobik.

Pengontrolan waktu pencampuran dan/atau aerasi untuk menghasilkan tingkat pengolahan yang diperlukan. Hidup matinya siklus pada udara dan mixer untuk mengadakan proses nitrifikasi, denitrifikasi dan penyisihan fosfor (Singh dan Srivastava, 2010).

3) *Settle* (pengendapan)

Selama fase ini, seluruh tangki bertindak sebagai *clarifier* tanpa aliran masuk atau arus masuk. Selama tahap ini lumpur aktif dibiarkan untuk mengendap dalam kondisi tenang. Kondisi ini dapat menimbulkan pemisahan padatan yang lebih baik daripada *clarifiers* konvensional. Periode pengendapan terakhir antara 0,5 - 1,5 jam dan mencegah adanya *solid blanket* yang mengambang karena penumpukan gas (Singh dan Srivastava, 2010).

Lumpur aktif cenderung untuk mengendap sebagai massa flokulan. Akan terbentuk massa flokulan berupa granular aerob jika pada setiap tahap dilakukan pengondisian dan perlakuan yang menunjang terbentuknya granular aerob (Patil *et al.*, 2013). Tahap ini sangat penting, karena dapat mempengaruhi kualitas effluen. Jika pada tahap ini terdapat padatan yang tidak dapat mengendap secara cepat, maka akan ikut keluar pada tahap *decant*. Hal ini yang dapat menurunkan kualitas efluen. Tahap ini mencakup 20% dari total waktu siklus dan mencakup 100% dari total volume (Haque, 2017; Singh dan Srivastava, 2010).

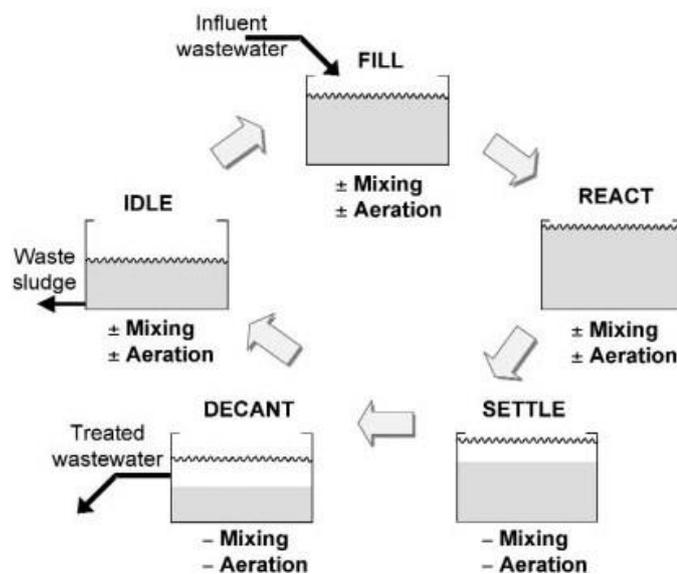
4) *Draw/decant* (penuangan)

Setelah fase pengendapan, supernatan yang ada dibuang dari reaktor sebagai limbah. Padatan dipisahkan dari reaktor selama fase *decanting* atau dalam beberapa kasus dalam kondisi siaga (Dohare dan Kawale, 2014). Mekanisme penuangan harus dirancang dan dioperasikan dengan cara mencegah mengambang bahan yang akan dibuang. Lumpur aktif yang berlebihan juga dibuang. Waktu yang digunakan untuk fase penuangan dapat berkisar dari 5-30% dari total waktu siklus dan mencakup 35-100% dari total

volume. Waktu tipikal yang diperoleh yaitu 45 menit (Patil *et al.*, 2013; Singh dan Srivastava, 2010).

5) *Idle* (diam/istirahat)

Fase yang terjadi pada periode antara *draw* dan *fill* disebut sebagai *idle*. Fase ini umumnya diperlukan ketika mengoperasikan beberapa SBR dalam sistem *multitank*. Tujuannya adalah untuk menyelesaikan siklus pengisian sebelum beralih ke unit lain. Tahap ini mencakup 25-35 % dari total volume (Patil *et al.*, 2013; Singh dan Srivastava, 2010).



Gambar 3.1 Tahapan *Cycle time*

Sumber : NEIWPC (2005)

3.7 Pengaruh *Cycle time* terhadap Penyisihan TN dan TP

Pengontrolan *cycle time* adalah faktor penting yang harus dipertimbangkan saat mengoptimalkan proses pengolahan (Singh dan Sriyastaya, 2010). Oleh karena

itu, pemilihan lama *cycle time* sangat berpengaruh terhadap efisiensi tingkat penyisihan TN (Total Nitrogen) dan TP (Total *Phosphor*).

Menurut Liu *et al.*, (2019), waktu siklus sangat mempengaruhi efisiensi penghilangan TN. Pada penelitiannya, limbah yang dikelola mengandung TN 28-32 mg/L dan TP 4,3-4,7 mg/L. Peneliti menggunakan kondisi dalam fase AOA-SBR. Variasi waktu siklus dengan periode T1, T2, T3, T4, T5 dan T6 dengan *cycle time*. Masing-masing periode 72 jam, 12 jam, 8 jam (tanpa karbon), 8 jam (dengan karbon), 6 jam (dengan karbon) dan 4 jam (dengan karbon). Efisiensi penyisihan pada pengolahan ini masing-masing TN 67,65%, 84,64%, 80,95%, 86,12%, 97,52% dan 69,56% juga TP 95,84%, 99,68%, 97,57%, 84,24%, 91,93%, dan 75,53%.

Pada saat *cycle time* berkurang dari 12 jam (periode T2) menjadi 8 jam (periode T3), konsentrasi nitrat meningkat pada periode T3. Efisiensi penyisihan TN pada periode T3 menurun terutama karena penurunan proses denitrifikasi.

Penurunan fase aerobik dari 3 jam 30 menit pada periode T2 menjadi 2 jam 30 menit pada periode T3 menghasilkan konsentrasi nitrat dan nitrit yang hampir sama pada akhir fase aerob. Penurunan fase aerobik juga menyebabkan konsentrasi nitrit meningkat dari *cycle time* periode T5 selama 2 jam menjadi 1 jam 20 menit pada periode T6. Sedangkan penurunan fase aerobik (40 menit) yang terjadi karena defisiensi nitrifikasi pada *cycle time* 4 jam (Periode T6) menyebabkan efisiensi penyisihan amonia yang rendah.

Cycle time pada periode T6 menghasilkan konsentrasi TP, nitrat dan nitrit yang tertinggi. Kondisi tersebut dikarenakan reaksi anoksik yang tidak mencukupi atau penurunan aktivitas bakteri denitrifikasi. Hal ini mengakibatkan konsentrasi NO_x-N limbah tinggi dan efisiensi penyisihan TN dan TP rendah. Kinerja optimal dicapai pada periode T5 (6 jam) yang menghasilkan kondisi operasi relatif stabil dan mampu menahan dampak dari lingkungan.

Kinerja dalam waktu siklus 6 jam juga dicapai dari penelitian Luo *et al.*, (2018) dan Chen *et al.*, (2012). Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian yang dilakukan Luo *et al.*, (2018) memiliki kondisi dalam dua fase yaitu AnA-SBR. Pada penelitiannya, limbah yang dikelola mengandung TN 30 mg/L dan TP 8 mg/L. Waktu siklus yang digunakan dengan 75 menit anoksik, 255 menit aerobik, 25 menit *settle* dan 5 menit *decant*. Limbah cair diumpankan ke reaktor selama 3 menit pertama periode anoksik. Sedangkan pada penelitian Chen *et al.*, (2012) limbah yang dikelola mengandung amonia nitrogen 100 mg/L. Penelitian ini menggunakan fase Anoksik-Oksik SBR. Waktu siklus yang digunakan 10 menit *fill*, 50 menit anoksik, 293 menit oksik/aerasi, 2 menit *settle* dan 5 menit *decant*. Limbah cair dipompa ke reaktor SBR dalam 10 menit pertama waktu siklus.

Dengan kondisi waktu siklus 6 jam, efisiensi removal dua fase tidak sama, dikarenakan waktu siklus yang digunakan pada anoksik dan aerobik berbeda. Pada penelitian Luo *et al.*, (2018) efisiensi penyisihan N dan P pada 50 – 60 hari mencapai $\pm 80\%$. Sedangkan pada penelitian Chen *et al.*, (2012) penyisihan nitrogen sangat tinggi mencapai lebih dari 90 %. Selain itu, siklus 6 jam juga terjadi pada penelitian Li *et al.*, (2019), SBR dioperasikan dalam kondisi fase AnA-SBR. Pada penelitiannya, limbah yang dikelola mengandung TN 50 mg/L dan TP 10 mg/L. Setiap siklus terdiri dari 1 jam anoksik, 4 jam aerobik, 0,5 jam *settle*, *decant* 5 menit dan *idle* 25 menit. Setelah beroperasi 120 hari, penyisihan amonia telah stabil dan memberikan nilai efisien tinggi (hampir 100%). Efisiensi TN dan TP di hari ke 120 juga mencapai 89,6% dan 97,5%.

Penelitian Jena *et al.*, (2020), menjelaskan reaktor dioperasikan di bawah 8 jam (anoksik), 4 jam (aerobik) dan 1 jam (*settle/ decant/ refill*). Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang mengolah *synthetic wastewater*, pada penelitian ini mengolah yaitu limbah cair industri pupuk fosfat dan limbah cair industri susu. Pada penelitiannya, limbah yang diolah mengandung masing-masing TN antara 1.200-1.350 mg/L dan 1.000-1.100 mg/L juga TP 100 mg/L dan 32-38 mg/L. Penelitian

ini dapat menyisihkan nitrat hingga 99% dan fosfor sebanyak 89-90%. Penelitian yang dilakukan Haque, (2017) limbah yang dikelola mengandung amonia nitrogen 58,18 mg/L dan fosfat 11,86 mg/L. Limbah cair rumah sakit yang diolah juga mempunyai perbedaan *cycle time*. Waktu aerasi pada penelitian ini adalah 6 jam dan 10 jam untuk masing-masing durasi siklus 8 jam dan 10 jam. Sebagian kondisi anaerobik pada penelitian ini dicapai pada tahap pengisian (*static fill*), tahap pengendapan, dan tahap dekantasi. Penelitian ini mampu menyisihkan masing-masing amonia nitrogen antara 82-97% dan 79-97% juga TP antara 55-90% dan 75-82%.

Pada penelitian Jena *et al.*, (2016) yang mengolah *synthetic wastewater* menggunakan fase anoksik panjang diikuti oleh fase aerobik pendek yang disebut sebagai LASA (*Long Anoxic Short Aerobic*). Pada penelitiannya, limbah yang dikelola mengandung nitrat 1.000 mg/L. Waktu siklus 24 jam, setiap siklus terdiri dari 18 jam anoksik, 5 jam aerobik dan 1 jam *fill/ decant/ refill*. Pada penelitian ini mampu menyisihkan nitrat dan phosphor sebanyak 98% dan 86,7%. Pada penelitian Afifah dan Sinatria (2017), mengolah lindi menggunakan fase Aerob-SBR. Pada penelitiannya, limbah yang dikelola mengandung TN sebesar 1.013 mg/L. Waktu siklus yang digunakan 60 menit aerobik, 24 jam *idle*, dan 180 menit *fill/ settle/ draw*. Penelitian ini mampu menyisihkan TN sebanyak 48,9-86,4%. Sama dengan penelitian Darmayanti (2011) dalam mengolah limbah air buangan Rumah Potong Hewan (RPH) menggunakan fase Aerob-SBR. Pada penelitiannya, limbah yang dikelola mengandung amonia nitrogen masing-masing 615,42 mg/L, 709,87 mg/L dan 537,04 mg/L. Penelitian ini menggunakan waktu siklus 120 menit *fill*, 2 menit *settle*, 2 menit *idle* dan menggunakan 3 variasi aerobik 240, 360, 480 menit. Pada penelitian ini mampu menyisihkan amonia sebanyak 39,29%, 49,32% dan 23,27%.

Chen *et al.*, (2013) dalam mengolah efluen dari *septic tank* menggunakan fase Aerobik-Anoksik SBR. Pada penelitiannya, limbah yang

dikelola mengandung amonia nitrogen 20-40 mg/L dan fosfat 2-8 mg/L. Penelitian ini menggunakan waktu siklus 240 menit aerobik, 150 menit anoksik, 28 menit oksik, 2 menit *settle*, dan 2 menit draw. Pada penelitian ini dapat menyisihkan TN kisaran antara 77-84% dan TP antara 95-99%. Penelitian Faouzi *et al.*, (2013) mengolah limbah dari industri penyamakan kulit menggunakan fase aerobik SBR. Penelitian ini, mengelola limbah dengan kandungan chromium 500 mg/L dan 1.000 mg/L dengan nitrogen 20 mg/L. Waktu siklus yang digunakan terdiri dari 23 jam aerobik, 54 menit *settle* dan 2 menit *idle* sebelum siklus selanjutnya. Penelitian ini dapat menyisihkan TN masing-masing 96% dan 90%. Selain nitrogen, penelitian ini mampu menyisihkan TP masing-masing 92% dan 88%.

Penelitian Kusmierczak *et al.*, (2012) yang mengolah *synthetic wastewater* menggunakan fase aerobik granule SBR. Penelitian ini, mengolah limbah dengan kandungan amonia 30 mg/L. Waktu siklus yang digunakan 6 jam terdiri dari 5 menit *fill*, 345 menit aerobik, 5 menit *settle* dan 5 menit *decant*. Penelitian ini dapat menyisihkan amonia 66% dan TP 83%. Penelitian Sombatsompop *et al.*, (2011) mengolah limbah kandang babi menggunakan fase aerobik SBR. Penelitian ini, mengelola limbah dengan kandungan amonia 300-500 mg/L. Waktu siklus yang digunakan terdiri dari 1 jam *fill*, 8 jam aerobik, 2 jam *settle* dan 1 jam *decant*. Penelitian ini dapat menyisihkan TN antara 75-87%. Penelitian Rio *et al.*, (2012) mengolah limbah industri susu, pengalengan ikan, pengolahan hasil laut dan peternakan babi menggunakan fase aerobik SBR. Penelitian ini, mengelola limbah dengan kandungan amonia masing-masing industri 25-185 mg/L, 40-70 mg/L, 50-150 mg/L dan 70-220 mg/L. Waktu siklus yang digunakan 3 jam terdiri dari 3 menit *fill*, 171 menit aerobik, 1 menit *settle* dan 5 menit *decant*. Penelitian ini dapat menyisihkan TN antara 76%, 15%, 15% dan 68%.

Penelitian Xu *et al.*, (2013) dan Alzatemarin (2016) mengolah synthetic wastewater. Pada Penelitian Xu *et al.*, (2013) menggunakan fase *static/oxic/anoxic* (SOA) SBR. Penelitian ini, mengelola limbah dengan kandungan amonia masing-masing 20 mg/L dan 40 mg/L . Waktu siklus yang digunakan 8 jam terdiri dari 60 menit *static fill*, 150 menit oksik, 90 menit anoksik, 30 menit *settle/decant* dan 60 menit *idle*. Penelitian ini dapat menyisihkan TN masing-masing 67% dan 80,5%. Penelitian Alzatemarin (2016), menggunakan fase anoksik-aerobik SBR. Penelitian ini, mengelola limbah dengan kandungan amonia masing-masing 40 mg/L dan 80 mg/L. Waktu siklus yang digunakan masing-masing 6 jam dan 12 jam. Waktu siklus 6 jam terdiri dari 150 menit aerobik, 150 menit anoksik, 50 menit *settle*, dan 10 menit *decant*. Waktu siklus 8 jam terdiri dari 220 menit aerobik, 440 menit anoksik, 51 menit *settle*, dan 9 menit *decant*. Penelitian ini dapat menyisihkan amonia $99 \pm 1\%$. Data ringkasan *Cycle time* dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Ringkasan *Cycle time*

Referensi	Jenis Limbah	Efisiensi Penyisihan		Total Siklus (jam)	Fill (menit)	React				Settle (menit)	Decant (menit)	Idle (menit)	Teknologi pengolahan
		TN	TP			Anaerobik	Aerobik	Anoksik	Oksik				
		(%)	(%)			(menit)	(menit)	(menit)	(menit)				
Liu et al., 2019	Synthetic wastewater	67,65	95,84	72	-	-	-	-	-	-	-	-	AOA (AnAeAnox) - SBR
		84,64	99,68	12			198						
		80,95	97,57	8			138						
		86,12	84,24	8			138						
		97,52	91,93	6			120						
		69,56	75,53	4			72						
Luo et al., 2018	Synthetic wastewater	83,70	81,3	6	-	-	255	75	-	25	5	-	Anoxic- Aerobic SBR
Chen et al., 2012	Synthetic wastewater	90	-	6	10	-	-	50	293	2	5	-	Anoksik-Oksik
Li et al., 2019	Synthetic wastewater	89,6	97,5	6	-	-	240	60	-	30	5	25	SBR
Jena et al., 2020	Limbah industri pupuk fosfat	99*	90	13	-	-	240	480	-	60			AnA SBR
	Limbah cair dari pabrik susu	99*	89										
Haque, 2017	Limbah Cair Rumah Sakit	82-97**	55-90	8	-	-	360	-	-	-	-	-	SBR
		79-97**	75-82	10			600						
Jena et al., 2016	Synthetic wastewater	98*	86,7	24	20	-	300	1080	-	-	40		LASA- SBR
Alfiah dan Sinatria, 2017	Lindi	48,9-86,4	-	28	60	-	60	-	-	60	60	1440	Aerob- SBR

Keterangan : * (nitrat)

** (amononia)

Lanjutan Tabel Ringkasan *Cycle time*

Darmayanti, 2011	Limbah Air Buangan RPH	39,29**	-	6	120	-	240	-	-	2	-	2	Aerob-SBR
		49,32**		8			360						
		23,27**		10			480						
Chen et al., 2013	<i>Septic tank effluent</i>	77-84	95-99	7	-	-	240	150	28	2	2	-	Aerobik-Anoxic-SBR
Faouzi et al., 2013	Limbah Penyamakan Kulit	96	92	24	-	-	1380	-	-	54	-	2	Aerobik SBR
		90	88										
Kusmierczak et. al., 2012	<i>Synthetic wastewater</i>	66**	83	6	5	-	345	-	-	5	5	-	Aerobik granul SBR
Sombatsompop et. al., 2011	Limbah Kandang Babi	75-87			60		480			120	60		Aerobik SBR
Rio et. al., 2012	Limbah Industri Susu	76	-	3	3	-	171	-	-	1	5	-	Aerobik SBR
	Limbah Industri Pengalengan Ikan	15											
	Limbah Industri Pengolahan Hasil Laut	15											
	Limbah Peternakan Babi	68											
Xu et al., 2013	<i>Synthetic wastewater</i>	67	-	8	60*	-	150	90	-	30		60	SOA SBR
		80,5											
Alzatemarin 2016	<i>Synthetic wastewater</i>	99 ± 1**	-	6	-	-	150	150	-	50	10	-	SBR
		99 ± 1**		12			220	440		51	9		

Keterangan : * (nitrat)

** (amonia)

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB IV

HASIL LITERATURE REVIEW

4.1 Analisis Sumber Limbah Pengolahan SBR

Analisis sumber limbah diperlukan untuk mengetahui kriteria influen limbah yang efisien menggunakan pengolahan SBR dalam menyisihkan TN dan TP. Pada sub bab 3.7 terdapat kajian tentang influen limbah yang efisien menggunakan pengolahan SBR dalam penelitian sebelumnya. Analisis ini akan didasarkan oleh kajian tersebut dan menghasilkan kriteria influen TN dan TP dari sumber limbah yang efisien menggunakan pengolahan SBR.

1. *Synthetic Wastewater*

Limbah yang digunakan peneliti dalam menguji kinerja SBR salah satunya yaitu *synthetic wastewater*. Pada sub bab 3.7 dijelaskan bahwa penelitian Liu *et al.*, (2019), mengelola *synthetic wastewater* yang mengandung TN 28-32 mg/L dan TP 4,3-4,7 mg/L. Efisiensi penyisihan pengolahan ini TN antara 67,65-97,52% dan TP antara 75,53-99,68%. Penelitian Luo *et al.*, (2018), mengandung TN 30 mg/L dan TP 8 mg/L dengan efisiensi penyisihan TN dan TP pada 50 – 60 hari mencapai $\pm 80\%$. Penelitian Chen *et al.*, (2012), mengandung amonia nitrogen 100 mg/L dengan penyisihan nitrogen sangat tinggi mencapai lebih dari 90 %. Efisiensi TN dan TP di hari ke 120 mencapai 89,6% dan 97,5% pada penelitian Li *et al.*, (2019) dengan kandungan TN 50 mg/L dan TP 10 mg/L. Penelitian Jena *et al.*, (2016), mampu menyisihkan nitrat dan phosphor sebanyak 98% dan 86,7% dengan kandungan nitrat sebanyak 1000 mg/L. Kandungan amonia 30 mg/L penelitian Kusmierczak *et al.*, (2012) dapat menyisihkan amonia 66% dan TP 83%. Penelitian Xu *et al.*, (2013) dengan kandungan amonia masing-masing 20 mg/L dan 40 mg/L dapat menyisihkan TN masing-masing 67% dan 80,5%.

Sedangkan penelitian Alzatemarin (2016), dengan kandungan amonia masing-masing 40 mg/L dan 80 mg/L dapat menyisihkan amonia $99 \pm 1\%$.

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa ada beberapa penelitian yang mampu menghasilkan efisiensi TN dan TP cukup tinggi ($>90\%$) dengan pengolahan SBR. Pada masing-masing penelitian memiliki nilai influen *synthetic wastewater* dan efisiensi yang berbeda-beda. Efisiensi yang berbeda dikarenakan kondisi operasi yang berbeda seperti pH, temperatur, oksigen terlarut dan kondisi operasi lain seperti pada subbab 4.2. Kandungan TN antara 28-50 mg/L dengan menggunakan pengolahan ini dapat menyisihkan antara 80-98%. Kandungan TP antara 4,3-10 mg/L berhasil diolah hingga mencapai efisiensi antara 75,53-99,68%. Sedangkan pada influen yang mengandung amonia nitrogen sebanyak 20-100 mg/L juga dapat menyisihkan TN hingga 89,6% dan amonia antara 66%-99%. Influen yang mengandung nitrat sebanyak 1.000 mg/L juga dapat diolah dengan SBR hingga efisiensi nitrat 98%.

2. Limbah Industri

Limbah industri merupakan salah satu sumber limbah yang berpotensi menggunakan pengolahan SBR untuk penyisihan TN dan TP. Limbah industri pupuk fosfat pada sub bab 3.7 penelitian Jena *et al.*, (2020), mengandung TN antara 1.200-1.350 mg/L dan TP 100 mg/L. Sedangkan limbah industri susu pada penelitiannya, mengandung TN antara 1.000-1.100 mg/L dan TP antara 32-38 mg/L. Penelitian ini dapat menyisihkan nitrat hingga 99% dan fosfor sebanyak 89-90%. Selain penelitian Jena *et al.*, (2020), penelitian Rio *et al.*, (2012) juga mengolah limbah industri susu. Pada penelitiannya, terkandung ammonia 25-185 mg/L dan dapat menyisihkan TN 76%. Selain limbah industri susu, Rio *et al.*, (2012) juga mengolah limbah industri pengalengan ikan,

pengolahan hasil laut dan peternakan babi. Masing-masing industri, memiliki kandungan amonia 40-70 mg/L, 50-150 mg/L dan 70-220 mg/L. Penelitian ini dapat menyisihkan TN antara, 15%, 15% dan 68%. Limbah dari industri penyamakan kulit penelitian Faouzi *et al.*, (2013) yang mengandung chromium 500 mg/L dan 1.000 mg/L dengan nitrogen 20 mg/L. Penelitian ini dapat menyisihkan TN masing-masing 96% dan 90%. Selain nitrogen, penelitian ini mampu menyisihkan TP masing-masing 92% dan 88%. Limbah dari kandang babi pada penelitian Sombatsompop *et al.*, (2011) dengan kandungan amonia 300-500 mg/L dapat menyisihkan TN antara 75-87%.

Dari hasil tersebut didapatkan bahwa masing-masing influen limbah industri memiliki nilai efisiensi yang berbeda. Efisiensi yang tinggi terdapat pada limbah industri pupuk fosfat, susu, peternakan babi dan penyamakan kulit. Efisiensi yang berbeda dikarenakan beberapa faktor, seperti jenis limbah industri yang dikelola. Kondisi operasi yang berbeda juga mempengaruhi kinerja dari pengolahan SBR seperti yang dijelaskan pada subbab 4.2. Efisiensi penyisihan TN dan TP yang dihasilkan cukup tinggi hingga >90%. Konsentrasi TN 20-1.350 mg/L dapat menggunakan pengolahan SBR dengan penyisihan hingga >90%. Konsentrasi amonia 25-500 mg/L dapat menggunakan pengolahan SBR dengan penyisihan antara 60-80%. Pengolahan SBR dapat menyisihkan TP >80% dengan kandungan TP 32-38 mg/L.

3. Limbah Non Industri

Limbah yang dapat menggunakan pengolahan SBR dalam penyisihan TN dan TP tidak hanya limbah industri. Selain itu, terdapat beberapa limbah yang dijelaskan di sub bab 3.7 seperti penelitian yang dilakukan oleh Haque, (2017) yang mengelola limbah rumah sakit. Kandungan amonia nitrogen sebanyak 58,18 mg/L dapat menyisihkan TN

antara 82-97% dan 79-97%. Kandungan fosfat sebanyak 11,86 mg/L pada penelitiannya juga dapat menyisihkan TP antara 55-90% dan 75-82%. Efisiensi TN dapat dicapai sebanyak 48,9-86,4% pada penelitian Afifah dan Sinatria (2017). Pada penelitiannya, mengelola lindi yang mengandung TN sebesar 1.013 mg/L.

Penelitian Darmayanti (2011), juga mengelola amonia hingga mampu menyisihkan sebanyak 39,29%, 49,32% dan 23,27%. Pada penelitiannya, limbah air buangan RPH yang dikelola mengandung amonia nitrogen masing-masing 615,42 mg/L, 709,87 mg/L dan 537,04 mg/L. Sedangkan pada penelitian Chen *et al.*, (2013) mampu mengelola efluen *septic tank* hingga efisiensi TN antara 77-84% dan TP antara 95-99%. Pada penelitian ini terdapat kandungan amonia nitrogen 20-40 mg/L dan fosfat 2-8 mg/L. Dari hasil tersebut didapatkan bahwa pada masing-masing penelitian memiliki nilai influen dengan efisiensi yang berbeda. Efisiensi yang tinggi didapatkan pada pengolahan limbah rumah sakit, lindi, *septic tank*. Efisiensi yang berbeda dikarenakan beberapa faktor, seperti jenis limbah yang dikelola dan kondisi operasi yang berbeda seperti yang dijelaskan pada subbab 4.2. Efisiensi penyisihan TN dan TP masing-masing mencapai >80% dan >90%.

4.2 Analisis Kondisi Operasi Pengolahan SBR

Analisis kondisi operasi pengolahan SBR diperlukan untuk mengetahui kondisi operasi optimum proses dari SBR. Pada Subbab 3.5 terdapat kajian mengenai kondisi operasi pada pengolahan SBR. Kajian tersebut ditulis per masing-masing kondisi operasi yang ada dalam penelitian-penelitian sebelumnya. Analisis tersebut juga akan menghasilkan kondisi operasi optimum menurut penulis. Analisis ini akan didasarkan oleh hasil kajian tersebut. Beberapa kondisi pengolahan SBR diantaranya yaitu :

1. Temperatur

Temperatur yang digunakan dapat mempengaruhi pertumbuhan bakteri. Pada subbab 3.5 dijelaskan bahwa temperatur yang rendah secara signifikan dapat mengurangi tingkat nitrifikasi (Brown *et al.*, 2005). Sedangkan temperatur yang lebih tinggi dapat menyebabkan peningkatan pertumbuhan alga secara berlebihan (USEPA, 2010). Pada pengolahan *synthetic wastewater* yang dilakukan penelitian oleh Liu *et al.*, (2019) dan Li *et al.*, (2019) suhu yang dikendalikan berbeda. Penelitian Liu *et al.*, (2019) dalam kondisi fase AOA-SBR dapat menyisihkan N dan P dengan suhu $28\pm 3^{\circ}\text{C}$ dan efisiensi penyisihan TN dan TP $>90\%$. Penelitian Li *et al.*, (2019) berhasil menyisihkan fosfor dengan suhu $10\pm 1^{\circ}\text{C}$ dengan efisiensi penyisihan TN 89,6% dan TP 97,5%. Pada penelitian Li *et al.*, (2019) memiliki efisiensi penyisihan TP lebih besar dibandingkan penelitian oleh Liu *et al.*, (2019). Menurut Li *et al.*, (2019), Suhu rendah ($10\text{-}25^{\circ}\text{C}$) dapat mendukung pertumbuhan dari *Phosphorus Accumulating Organisms* (PAO). Suhu rendah memberikan lingkungan yang lebih baik bagi PAO untuk menunjukkan aktivitas metabolik yang lebih tinggi. Sehingga penyisihan fosfor yang didapatkan tinggi.

Penelitian Jena *et al.*, (2020) dapat menyisihkan N dan P dalam limbah industri pupuk fosfat dan limbah cair pabrik susu dalam suhu $30\text{-}35^{\circ}\text{C}$ dengan efisiensi penyisihan nitrat hingga 99% dan TP 90%. Haque (2017), dalam menyisihkan nitrat pada limbah cair rumah sakit menggunakan suhu antara $5\text{-}30^{\circ}\text{C}$ dengan efisiensi penyisihan amonia 79-97% dan TP 55-90%. Darmayanti, (2011) menggunakan suhu 25°C untuk limbah cair buangan RPH menyisihkan amonia 49,32%.

Dari hasil tersebut didapat bahwa pada masing-masing penelitian memiliki nilai temperatur yang optimum. Pengolahan *synthetic*

wastewater menggunakan kondisi suhu optimum antara 10-28°C. Sedangkan pada pengolahan limbah industri dan non industri menggunakan kondisi suhu optimum antara 30-35°C. Perbedaan kondisi suhu dipengaruhi oleh aktivitas bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi. Kondisi suhu saling berpengaruh dengan kondisi pH dalam perkembangan aktivitas bakteri dalam reaktor. Efisiensi penyisihan yang didapatkan TN dan TP >90%.

2. pH

pH adalah variabel penting dalam setiap proses pengolahan biologis. pH juga merupakan parameter penting untuk nitrifikasi (USEPA, 2010). Untuk denitrifikasi dalam penyisihan fosfor secara biologis, nilai pH dapat digunakan sebagai parameter kontrol (Dohare dan Kawale, 2014). Pada penelitian Liu *et al.*, (2019) dalam mengolah *synthetic wastewater*, pH limbah cair influen disesuaikan menjadi 7,0 menggunakan HCl dan NaOH dapat menyisihkan TN 67,65%-97,52%. Sedangkan penyisihan TP pada penelitian ini mencapai 75,53-99,68%. Penelitian Luo *et al.*, (2018) yang juga mengolah *synthetic wastewater* memiliki nilai pH bervariasi antara 7,0- 7,5 dapat menyisihkan TN 83,70% dan TP 81,3%. pH awal siklus dipertahankan pada 7,0 pada penelitian Jena *et al.*, (2016), kemudian dilakukan peningkatan pH hingga antara 8–8,5. Efisiensi penyisihan yang didapatkan TN 98% dan TP 86,7%. Penggunaan pH 7,2 pada penelitian Kusmierczak *et al.*, (2012) didapatkan efisiensi penyisihan amonia 66% dan TP 83%. Penelitian Alzatemarin (2016) menggunakan pH masing-masing $7,0 \pm 0,1$ dan $7,5 \pm 0,1$. Efisiensi penyisihan TN yang didapatkan masing-masing sama yaitu $99 \pm 1\%$.

Pada penelitian yang dilakukan Jena *et al.*, (2020), pada akhir siklus, pH dari limbah cair pupuk fosfat dan susu masing-masing $8,2 \pm 0,3$ dan $7,87 \pm 0,22$. Efisiensi yang diperoleh yaitu TN 99% dan TP 89-90%.

Penelitian Haque, (2017) menjelaskan proses nitrifikasi menggunakan pH antara 7,5-8,5 dapat berjalan secara optimal hingga menyisihkan TN 79-97% dan TP 55-90%. Penggunaan pH 7,0 juga dilakukan pada penelitian chen *et al.*, (2013) dengan efisiensi yang didapatkan TN 77-84% dan TP 95-99%. Penggunaan pH 6,5-8,5 pada penelitian Darmayanti (2011) dapat menyisihkan amonia hanya 23,27%-39,29%. pH antara 7,2-7,9 pada penelitian Rio *et al.*, (2012) digunakan untuk mengelola industri peternakan babi. Efisiensi penyisihan TN yang didapatkan pada penelitian Rio *et al.*, (2012) yaitu 68%. Pada penelitian Rio *et al.*, (2012) juga menggunakan pH masing-masing 6,6-7,5 dan 6,0-7,4 untuk mengelola limbah industri pengalengan ikan dan pengolahan hasil laut. Efisiensi penyisihan TN yang didapatkan masing-masing sama yaitu 15 %, 15% dan 68%. Penelitian Sombatsompop *et al.*, (2011) menggunakan pH $7,5 \pm 0,5$ dengan efisiensi penyisihan yang didapatkan TN 75-87%.

Dari hasil tersebut didapat bahwa pada masing-masing penelitian memiliki nilai pH yang optimum. Pengolahan *synthetic wastewater*, limbah industri dan non industri menggunakan kondisi pH optimum antara 7,0-8,5. Efisiensi penyisihan yang didapatkan TN dan TP >80%. Perubahan pH yang signifikan terbukti mengganggu kinerja nitrifikasi. Perubahan pH yang signifikan adalah perubahan yang terlalu jauh diluar dari kontrol pH optimal yang digunakan. pH optimal (6,5-8) dapat digunakan untuk mempertahankan nitrifikasi. pH yang mendekati pada suhu rendah (10-25°C) dapat memberikan kinerja yang baik (USEPA, 2010; Brown *et al.*, 2005).

3. Oksigen Terlarut

Konsentrasi DO pada penelitian Liu *et al.*, (2019) dipertahankan kurang dari 0,5 mg/L (anaerobik), 2,0-3,0 mg/L (aerobik) dan 0,5-1,0

mg/L (anoksik). Pada penelitiannya menghasilkan efisiensi penurunan TN 67,65-97,52% dan TP 75,53-99,68%. Pada penelitian Luo *et al.*, (2018) selama fase aerobik, DO dikendalikan pada $2,1 \pm 0,1$ mg/L menghasilkan efisiensi TN 83,70% dan TP 81,3%. Penelitian ini dapat menyisihkan TN 89,6% dan TP 97,5%. Oksigen terlarut dalam fase oksik pada penelitian Xu *et al.*, (2013), dikendalikan antara 2-5 mg/L. Efisiensi penyisihan TN yang dihasilkan 67-80,5%. Oksigen terlarut pada fase aerobik penelitian Alzatemarin (2016), dikendalikan masing-masing $1,6 \pm 0,3$ mg/L dan $5,5 \pm 1,2$ mg/L dengan efisiensi amonia masing-masing sama hingga $99 \pm 1\%$. Penelitian Darmayanti (2011), DO dalam fase aerobik dikendalikan pada $> 3,0$ mg/L dengan efisiensi penyisihan amonia hanya 23,27-49,32%. Sedangkan penelitian Rio *et al.*, (2012), DO dalam fase aerobik dikendalikan antara 4-8 mg/L menghasilkan efisiensi 15-76%.

Dari hasil tersebut didapat bahwa pada masing-masing penelitian memiliki DO yang optimum dikendalikan pada pengolahan SBR. Dapat dilihat dari penelitian-penelitian tersebut, pengolahan *synthetic wastewater*, limbah industri dan non industri menggunakan kondisi DO 2-8 mg/L (aerobik), 0,2-1,0 mg/L (anaerobik), 0,5-1,0 (anoksik), 1,6-5 mg/L (oksik). Efisiensi penyisihan yang didapatkan TN dan TP mencapai $>80\%$ dengan menggunakan bakteri nitrifikasi (*nitrosomonas* dan *nitrobacter*) dan denitrifikasi (*pseudomonas*).

4. Retention time

SRT pada penelitian Liu *et al.*, (2019) ini bervariasi dari 25 hingga 12 hari karena waktu siklus berkurang. Penelitian ini menghasilkan efisiensi penyisihan TN 67,65-97,52% dan TP 75,53-99,68%. Untuk setiap siklus pada penelitian Luo *et al.*, (2018), sekitar 3L supernatan ditarik. SRT pada penelitian ini dikontrol di sekitar 20 hari dengan menghasilkan efisiensi penurunan TN 83,70% dan TP

81,3%. Pada penelitian Li *et al.*, (2019), setiap siklus setelah periode pengendapan sebanyak 2,5 L limbah cair yang diolah dibuang. HRT yang dihasilkan yaitu 12 jam. Pada akhir tahap aerobik, sebanyak 200 mL *mixed liquid* dibuang setiap hari untuk menjaga nilai SRT konstan pada 25 hari dengan efisiensi penyisihan TN 89,6% dan TP 97,5%. SRT dan HRT pada penelitian Kusmierczak *et al.*, (2012), memiliki nilai masing-masing 8 hari dan 12 jam dengan efisiensi amonia 66% dan TP 83%. Pada penelitian Jena *et al.*, (2016) menghasilkan HRT 24 jam dan SRT sekitar 20 hari. Penelitian ini menghasilkan efisiensi penyisihan TN 98% dan TP 86,7%. Pada penelitian Sombatsompop *et al.*, (2011), memiliki nilai SRT 10 hari dan HRT 18 jam dengan efisiensi penyisihan TN 75-87%.

Dari hasil tersebut didapat bahwa pada masing-masing penelitian memiliki nilai SRT dan HRT yang optimum dikendalikan pada pengolahan SBR. Pengolahan *synthetic wastewater* menggunakan kondisi SRT 8-20 hari dan HRT 12-24 jam. Pengolahan limbah industri dan non industri menggunakan kondisi SRT 10-20 hari dan HRT 18-24 jam. Efisiensi penyisihan yang didapatkan TN dan TP mencapai >80%.

5. *Suspended solid*

Penelitian Liu *et al.*, (2019) memiliki konsentrasi MLSS yaitu 5.380 ± 430 mg/L dan MLVSS sebanyak 4.200 ± 310 mg/L. Penelitian ini menghasilkan efisiensi penyisihan TN antara 67,65-97,52% dan TP antara 75,53-99,68%. Pada penelitian Luo *et al.*, (2018), memiliki nilai MLSS antara 3.000-3.500 mg/L menghasilkan efisiensi penyisihan TN 83,70% dan TP 81,3%. Sedangkan penelitian yang dilakukan Li *et al.*, (2019) memiliki nilai MLSS 3.000 mg/L dengan efisiensi penyisihan TN 89,6% dan TP 97,5%. MLSS yang terdapat pada penelitian Kusmierczak *et al.*, (2012) yaitu 8.000 mg/L menghasilkan

efisiensi pengolahan yaitu amonia 66% dan TP 83%. MLVSS yang terdapat pada penelitian Xu *et al.*, (2013) yaitu 2.970 ± 29 mg/L dan 3.007 ± 23 mg/L dengan efisiensi penyisihan TN masing-masing 67% dan 80,5%.

Pada penelitian Jena *et al.*, (2016), diamati bahwa nilai TSS dalam kisaran 5.100-6.900 mg/L dan 5.400-7.300 mg/L pada akhir fase anoksik dengan durasi panjang dan fase aerobik dengan durasi pendek. Demikian pula rata-rata nilai VSS antara 2.060-2.260 mg/L selama fase anoksik yang diamati lebih rendah daripada fase aerob yaitu 3.590 mg/L. Penelitian ini menghasilkan efisiensi penyisihan TN 98% dan TP 86,7%. Pada penelitian Chen *et al.*, (2012) terdapat konsentrasi MLSS yaitu 5.500 mg/L dan MLVSS 5.000-7.000 mg/L dengan efisiensi penyisihan TN 90%. Penelitian Jena *et al.*, (2020) memiliki nilai MLSS dari pengolahan antara 5.800-6.200 mg/L dan MLVSS 3.450-3.580 mg/L. Penelitian ini menghasilkan efisiensi penyisihan TN 98% dan TP 86,7%.

Penelitian Haque (2017) memiliki nilai MLSS pada pengolahan yaitu 3.600-4.300 mg/L dengan efisiensi penyisihan TN 79-97% dan TP 55-90%. MLSS yang terdapat pada penelitian Alfiah dan Sinatria (2017) yaitu 1.624-2.040 mg/L dengan efisiensi penyisihan TN 48,9-86,4%. Sedangkan penelitian Chen *et al.*, (2013) memiliki nilai MLSS antara 3.785-4.490 mg/L dan MLVSS antara 2.796-3.197 mg/L. Efisiensi penyisihan yang dihasilkan TN antara 77-84% dan TP 95-99%. MLSS yang terdapat pada penelitian Faouzi *et al.*, (2013) yaitu 3.000-6.000 mg/L dengan efisiensi penyisihan TN 90-96% dan TP 88-92%. Penelitian Sombatsompop *et al.*, (2011), memiliki MLSS pada pengolahan yaitu 3.000 mg/L dengan efisiensi TN 75-87%. Penelitian Rio *et al.*, (2012),

memiliki MLVSS masing-masing 5.000 mg/L pada industri susu dan 10.000 pada industri pengalengan ikan, pengolahan hasil laut dan peternakan babi. Pada penelitian ini industri susu memiliki efisiensi penyisihan TN 76 %, sedangkan industri lain hanya 15%, 15% dan 68%.

Dari hasil tersebut didapat bahwa pada masing-masing penelitian memiliki nilai MLSS dan MLVSS yang optimum dikendalikan pada pengolahan SBR. Nilai MLSS dan MLVSS dapat dikontrol pada akhir periode aerobik dengan mengambil 200 mL *mixed liquid* pada SBR (Li *et al.*, 2019). Pengolahan *synthetic wastewater* menggunakan kondisi MLSS 3.000-5.000 mg/L dan MLVSS 2.000-4.000 mg/L. Pengolahan limbah industri dan non industri menggunakan kondisi MLSS 1.600-8.000 mg/L dan MLVSS 2.000-10.000 mg/L. Efisiensi penyisihan yang didapatkan TN dan TP mencapai >80%.

4.3 Analisis Pengaruh *Cycle time*

Analisis ini diperlukan untuk mengetahui pengaruh *cycle time* terhadap penyisihan TN dan TP pada pengolahan SBR. Pada sub bab 3.7 terdapat kajian mengenai pengaruh *cycle time* terhadap penyisihan TN dan TP dalam penelitian-penelitian sebelumnya. Analisis ini akan didasarkan oleh kajian tersebut dan menghasilkan beberapa *cycle time* yang optimum menurut penulis sesuai dengan sumber limbah.

1. *Synthetic Wastewater*

Waktu siklus sangat mempengaruhi efisiensi penghilangan TN (Liu *et al.*, 2019). Pada penelitiannya, terdapat variasi waktu siklus dengan periode T1, T2, T3, T4, T5 dan T6. Masing-masing periode *cycle time* 72 jam, 12 jam, 8 jam (tanpa karbon), 8 jam (dengan karbon), 6 jam (dengan karbon) dan 4 jam (dengan karbon). Efisiensi penyisihan TN pada *cycle time* paling panjang yaitu T1 (72 jam) hanya mampu mengolah TN

67,65%, dan TP 95,84%. Periode T1 mampu menyisihkan TP >90% akan tetapi tidak efisien untuk penyisihan TN <80%. Waktu siklus panjang dilakukan juga pada penelitian Jena *et al.*, (2016) dengan *cycle time* 24 jam. Setiap siklus terdiri dari 18 jam anoksik, 5 jam aerobik dan 1 jam *fill/ decant/ refill*. Berbeda dengan periode T1 penelitian dari Liu *et al.*, (2019), Pada penelitian ini mampu menyisihkan nitrat dan phosphor sebanyak 98% dan 86,7%.

Sedangkan pada *cycle time* paling singkat yaitu T6 (4 jam) hanya mampu menyisihkan TN 69,56% dan TP 75,53%. Periode ini hanya mampu menyisihkan TN dan TP <80%. Berbeda dengan periode T2, T3, T4 dan T5 yang mampu menyisihkan TN masing-masing 84,64%, 80,95%, 86,12%, dan 97,52%. Sedangkan penyisihan TP mampu mencapai masing-masing 99,68%, 97,57%, 84,24%, dan 91,93%. Pada periode ini yaitu antara 6-12 jam mampu menyisihkan TN dan TP >80%. Menurut Liu *et al.*, (2019) pada periode T5 (6 jam) merupakan *cycle time* paling efisien hingga mampu menyisihkan TN 97,52% dan TP 91,93%. Periode T5 menggunakan waktu siklus aerobik selama 2 jam. Periode ini dapat menghasilkan kondisi operasi yang relatif stabil dan mampu menahan dampak dari lingkungan.

Waktu siklus 6 jam digunakan juga pada penelitian Luo *et al.*, (2018), Chen *et al.*, (2012) dan Li *et al.*, (2019). Penelitian yang dilakukan Luo *et al.*, (2018) memiliki waktu siklus yang terdiri dari 75 menit anoksik, 255 menit aerobik, 25 menit *settle* dan 5 menit *decant*. Efisiensi penyisihan yang dicapai TN dan TP pada 50 – 60 hari mencapai $\pm 80\%$. Penelitian Chen *et al.*, (2012) memiliki waktu siklus terdiri dari 10 menit *fill*, 50 menit anoksik, 293 menit oksik/aerasi, 2 menit *settle* dan 5 menit *decant*. Penelitian ini menghasilkan efisiensi penyisihan nitrogen sangat tinggi hingga mencapai lebih dari 90 %. Sedangkan penelitian Li *et al.*, (2019),

siklus terdiri dari 1 jam anoksik, 4 jam aerobik, 0,5 jam *settle*, *decant* 5 menit dan *idle* 25 menit. Setelah beroperasi 120 hari, penyisihan amonia telah stabil dan memberikan nilai efisien tinggi (hampir 100%). Efisiensi penyisihan TN dan TP di hari ke 120 mencapai 89,6% dan 97,5%. Dari beberapa penelitian tersebut membuktikan bahwa *cycle time* 6 jam dipilih karena optimum menyisihkan TN dan TP.

Penelitian Kusmierczak *et al.*, (2012) mengolah *synthetic wastewater* menggunakan fase aerobik granule SBR. Penelitian ini, mengelola limbah dengan kandungan amonia 30 mg/L. Waktu siklus yang digunakan 6 jam terdiri dari 5 menit *fill*, 345 menit aerobik, 5 menit *settle* dan 5 menit *decant*. Penelitian ini dapat menyisihkan amonia 66% dan TP 83%. Penelitian Xu *et al.*, (2013) dengan waktu siklus yang digunakan 8 jam terdiri dari 60 menit *static fill*, 150 menit oksik, 90 menit anoksik, 30 menit *settle/decant* dan 60 menit *idle*. Penelitian ini dapat menyisihkan TN masing-masing 67% dan 80,5%. Penelitian Alzatamarin (2016), dengan waktu siklus yang digunakan masing-masing 6 jam dan 12 jam. Waktu siklus 6 jam terdiri dari 150 menit aerobik, 150 menit anoksik, 50 menit *settle*, dan 10 menit *decant*. Waktu siklus 8 jam terdiri dari 220 menit aerobik, 440 menit anoksik, 51 menit *settle*, dan 9 menit *decant*. Penelitian ini dapat menyisihkan amonia $99 \pm 1\%$. Dari hasil tersebut didapatkan bahwa *cycle time* optimum dalam mengolah *synthetic wastewater* pada 6 jam (Liu *et al.*, 2019; Luo *et al.*, 2018; Chen *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2019; Kusmierczak *et al.*, 2012).

Kinerja pada periode 6 jam menghasilkan kondisi operasi relatif stabil karena dapat menyisihkan nitrogen dan fosfor secara simultan pada saat nitrifikasi dan denitrifikasi. Pada periode 6 jam juga mampu menahan dampak dari lingkungan yang dapat mempengaruhi kinerja dari proses

nitrifikasi dan denitrifikasi. Kondisi tersebut dikarenakan reaksi yang mencukupi sehingga terjadi peningkatan aktivitas bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi. Pada periode 6 jam efisiensi penyisihan TP meningkat, TP dihilangkan secara biologis, dengan pelepasan P dalam fase anaerobik dan serapan P dalam fase aerobik dan anoksik. Umumnya, sebagian besar bakteri denitrifikasi bersifat heterotrofik, oleh karena itu membutuhkan sumber karbon organik untuk pertumbuhan sel dan reduksi nitrat. Penambahan sumber karbon dapat meningkatkan kinerja siklus dalam penyisihan nitrogen (Liu *et al.*, 2019). Waktu siklus 6 jam optimum digunakan pada minimum 2 fase. Efisiensi penyisihan TN dan TP yang didapatkan >90%.

2. Limbah Industri

Penelitian Jena *et al.*, (2020), menggunakan waktu siklus untuk mengolah limbah industri pupuk fosfat dan susu yang dioperasikan di bawah 8 jam (anoksik), 4 jam (aerobik) dan 1 jam (*settle/ decant/ refill*). Efisiensi penyisihan yang didapatkan untuk mengelola limbah cair pupuk fosfat sebanyak nitrat 99% dan TP 90%. Sedangkan efisiensi penyisihan untuk mengelola limbah cair susu sebanyak nitrat 99% dan TP 89%. Dari kedua industri didapatkan efisiensi penyisihan nitrat hampir 100%. Penelitian Sombatsompop *et al.*, (2011) dengan waktu siklus yang digunakan 12 jam terdiri dari 1 jam *fill*, 8 jam aerobik, 2 jam *settle* dan 1 jam *decant*. Penelitian ini dapat menyisihkan TN antara 75-87%.

Waktu siklus yang digunakan penelitian Faouzi *et al.*, (2013) dalam mengolah limbah penyamakan kulit terdiri dari 23 jam aerobik, 54 menit *settle* dan 2 menit *idle* sebelum siklus selanjutnya. Penelitian ini dapat menyisihkan TN dengan 2 variasi masing-masing 96% dan 90%. Selain nitrogen, penelitian ini mampu menyisihkan TP masing-masing 92% dan 88%. Penelitian Rio *et al.*, (2012) menggunakan

waktu siklus 3 jam. Waktu siklus terdiri dari 3 menit *fill*, 171 menit aerobik, 1 menit *settle* dan 5 menit *decant*. Penelitian ini dapat menyisihkan TN 76%, 15%, 15% dan 68% pada industri susu, pengalengan ikan, pengolahan hasil laut dan peternakan babi. Dari hasil tersebut didapatkan bahwa *cycle time* optimum dalam mengolah berbagai limbah industri. Waktu siklus yang beragam di pengaruhi oleh jenis limbah industri yang diolah. Penyisihan TN dan TP yang didapatkan hingga >80%.

3. Limbah Non Industri

Pada penelitian yang dilakukan Haque (2017), waktu siklus yang digunakan yaitu 8 jam dan 10 jam. Waktu aerasi yang digunakan pada pengolahan ini masing-masing 6 jam dan 10 jam. Efisiensi penyisihan amonia yang didapatkan masing-masing antara 82-97% dan 79-97%. Selain itu, pengolahan ini dapat menyisihkan TP sebanyak masing-masing 55-90% dan 75-82%. Pada penelitian Afifah dan Sinatria (2017) menggunakan waktu siklus 60 menit aerobik, 24 jam *idle*, dan 180 menit *fill/ settle/ draw*. Pada penelitian ini mampu menyisihkan nitrat sebanyak 48,9-86,4%. Penelitian Darmayanti (2011) dalam mengolah menggunakan waktu siklus 120 menit *fill*, 2 menit *settle*, 2 menit *idle* dan menggunakan 3 variasi aerobik 240, 360, 480 menit. Pada penelitian ini mampu menyisihkan amonia sebanyak 39,29%, 49,32% dan 23,27%. Chen *et al.*, (2013) menggunakan waktu siklus 240 menit aerobik, 150 menit anoksik, 28 menit oksik, 2 menit *settle*, dan 2 menit *draw*. Pada penelitian ini dapat menyisihkan TN kisaran antara 77-84% dan TP antara 95-99%. Sama halnya dengan pengolahan pada limbah industri, pada limbah non industri didapatkan *cycle time* yang optimum bermacam-macam. Penyisihan TN dan TP yang didapatkan hingga >80%. *Cycle time* mempengaruhi kinerja dari tiap fase. Seperti pada

penelitian Haque (2017) dan Darmayanti (2011) dalam fase aerobik. Pada penelitian Haque (2017) semakin lama siklus aerobik, efisiensi penyisihan menurun dari 82-97% menjadi 79-97%. Penelitian Darmayanti (2011) juga mengalami penurunan dari 49,32% menjadi 23,27%.

4.4 Analisis Kelebihan dan Kekurangan SBR

Sequencing batch reactor (SBR) merupakan salah satu pengolahan biologis yang digunakan untuk menyisihkan nutrien. SBR adalah salah satu pengolahan yang banyak dipilih untuk menangani permasalahan nutrien. Dibandingkan pengolahan lainnya, SBR memiliki kelebihan dan kekurangan dalam pengolahannya. Berikut ini kelebihan dan kekurangan dari pengolahan SBR :

A. Kelebihan SBR

Beberapa kelebihan dari pengolahan SBR adalah sebagai berikut :

1. SBR merupakan sistem pengolahan yang sangat fleksibel. SBR memiliki struktur yang sederhana, dimana bak ekualisasi, *clarifier* primer dan *clarifier* sekunder dapat terjadi dalam satu wadah reaktor (Liu *et al.*, 2019; USEPA, 1999).
2. Pengolahan biologis yang relatif murah untuk penyisihan nutrien. Pengolahan SBR salah satu pengolahan yang hanya membutuhkan satu wadah reaktor dalam satu pengolahan, sehingga tidak diperlukan biaya tambahan untuk membuat reaktor lainnya (Brown *et al.*, 2005; USEPA, 1999).
3. Sistem pengolahan yang sangat efektif untuk fasilitas pengolahan berukuran kecil hingga menengah. Pengolahan SBR sangat efektif digunakan karena pengoperasiannya yang mudah (Brown *et al.*, 2005).

B. Kekurangan SBR

Beberapa kekurangan dari pengolahan SBR adalah sebagai berikut :

1. Pada penggunaan sistem pengolahan SBR yang berukuran besar, membutuhkan unit pengontrol otomatis yang lebih canggih karena pengoperasiannya yang menggunakan sistem *batch*. Hal ini akan membutuhkan biaya operasional dan perawatan yang lebih mahal dalam pengoperasiannya (USEPA, 1999).
2. Pengolahan SBR tidak efektif digunakan pada temperatur yang terlalu tinggi ($>40^{\circ}\text{C}$) dan temperatur terlalu rendah ($<5^{\circ}\text{C}$). Temperatur yang terlalu tinggi dapat membunuh bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi yang bekerja dalam menyisihkan nutrisi. Temperatur yang terlalu rendah dapat mengurangi laju pertumbuhan nitrifikasi secara signifikan (Brown *et al.*, 2005).
3. pH pada SBR harus dikendalikan agar tidak berada di bawah 7,0. Proses nitrifikasi menghasilkan asam apabila tidak ada alkalinitas yang cukup dalam air limbah, maka pH akan turun. Hal ini dapat menyebabkan menghambat organisme dalam proses nitrifikasi (USEPA, 2010).

4.5 Future Research Pengolahan SBR

Potensi yang dimiliki oleh teknologi *Sequencing Batch Reactor* (SBR) perlu dikaji untuk menunjukkan arah perkembangan yang dapat dilakukan pada proses pengolahan tersebut dalam menyisihkan TN dan TP. Kajian dari *future research* ini akan membahas mengenai potensi dari pengolahan SBR untuk penelitian selanjutnya. Penelitian terbaru mengenai pengolahan SBR dilakukan oleh Liu *et al.*, (2019); Jena *et al.*, (2020). Dalam penelitian tersebut, terlihat perkembangan yang terjadi dalam segi kondisi operasi dan *cycle time* pengolahan SBR. Dibuktikan dari Liu *et al.*, (2019), pada penelitiannya mengkaji dengan mengubah waktu siklus dalam pengolahan SBR.

Penelitiannya digunakan untuk mendapatkan waktu siklus yang optimal dalam tiga fase secara bergantian. Penelitian ini dilakukan di negara China yang memiliki 4 musim dengan kondisi operasi yang umum dan bisa digunakan pada negara 2 musim seperti Indonesia. Kondisi operasi yang umum digunakan seperti suhu ($28 \pm 3^\circ\text{C}$) dan pH (7,0) dengan pencapaian efisiensi penyisihan TN dan TP yang cukup tinggi hingga $>95\%$. Sama halnya dengan Liu *et al.*, (2019), penelitian Jena *et al.*, (2020) yang dilakukan di negara tropis India menggunakan suhu (30-35) dan pH (7,0-7,5) bisa mencapai efisiensi hingga hampir 100%.

Pengolahan SBR memiliki efisiensi cukup tinggi dengan mengkombinasikan beberapa fase dari aerobik, anaerobik, anoksik dan oksik. Seperti pada penelitian Liu *et al.*, (2019) yang mengkombinasikan anaerobik, aerobik dan anoksik (AOA-SBR). Kombinasi dari beberapa fase ini dapat meningkatkan laju penyisihan secara optimal. Penyisihan amonia yang terjadi pada fase aerobik/oksik dan penyisihan gas nitrogen juga fosfor pada fase anaerobik/anoksik dapat tercapai. Sebagian dari beberapa penelitian pengolahan SBR hanya menggunakan satu fase yaitu aerobik seperti pada penelitian Alfiah dan Sinatria (2017); Darmayanti (2011); Faouzi *et al.*, (2013); Kusmierczak *et al.*, (2012); Sombatsompop *et al.*, (2011); Rio *et al.*, (2012). Hasil penelitian tersebut secara tidak langsung menyatakan bahwa pengolahan SBR telah berkembang dan hampir siap untuk diterapkan dalam skala industri khususnya dalam penyisihan TN dan TP. Dalam tahun kedepannya, melihat dari kemajuan tersebut maka analisis pengolahan SBR dapat dilakukan dengan skala yang lebih besar yaitu (*pilot scale*) pada industri penghasil nutrien yang sebenarnya. Setelah analisis tersebut berhasil, maka potensi pengolahan SBR akan semakin meningkat dan akan dengan mudah untuk diterapkan dalam skala industri secara *real*.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil analisis dan kajian *literature review* yang telah dituliskan, dapat disimpulkan beberapa hal yang sebagai berikut:

1. Sumber limbah yang dapat menggunakan teknologi pengolahan SBR diantaranya:
 - a. *Synthetic wastewater*, dengan kandungan TN antara 28-50 mg/L dan TP antara 4,3-10 mg/L.
 - b. Limbah industri, yaitu sebagai berikut :
 - I. Limbah industri pupuk fosfat, dengan TN antara 1.200-1.350 mg/L dan TP 100 mg/L).
 - II. Limbah industri susu, dengan TN antara 1.000-1.100 mg/L, amonia 25-185 mg/L dan TP antara 32-38 mg/L.
 - III. Limbah industri peternakan babi dengan TN antara 300-500 mg/L dan amonia 70-220 mg/L.
 - IV. Limbah industri penyamakan kulit, dengan TN 20 mg/L.
 - c. Limbah non industri, yaitu sebagai berikut :
(limbah rumah sakit, lindi, air buangan Rumah Potong Hewan (RPH), *septic tank*).
 - I. Limbah rumah sakit, dengan TN 58,18 mg/L dan TP 11,86 mg/L.
 - II. Lindi, dengan TN 1.031 mg/L.
 - III. *Septic tank*, dengan amonia 20-40 mg/L dan TP antara 2-8 mg/L.
2. Kondisi operasi pengolahan SBR yang perlu diperhatikan yaitu:
 - a. Temperatur, pengolahan *synthetic wastewater* menggunakan kondisi suhu antara 10-28°C. Pada pengolahan limbah industri dan non industri menggunakan kondisi suhu optimum antara 30-35°C.

- b. pH, pengolahan *synthetic wastewater*, limbah industri dan non industri menggunakan kondisi pH optimum antara 7,0-8,5.
 - c. Oksigen terlarut (DO), pengolahan *synthetic wastewater*, limbah industri dan non industri menggunakan kondisi antara 2-8 mg/L (aerobik), 0,2-1,0 mg/L (anaerobik), 0,5-1,0 mg/L (anoksik) dan 1,6-5 mg/L (oksik).
 - d. *Retention time*, pengolahan *synthetic wastewater* menggunakan kondisi SRT 8-20 hari dan HRT 12-24 jam. Pengolahan limbah industri dan non industri menggunakan kondisi SRT 10-20 hari dan HRT 18-24 jam.
 - e. *Suspended solid*, pengolahan *synthetic wastewater* menggunakan kondisi MLSS 3.000-5.000 mg/L dan MLVSS 2.000-4.000 mg/L. Pengolahan limbah industri dan non industri menggunakan kondisi MLSS 1.600-8.000 mg/L dan MLVSS 2.000-10.000 mg/L.
3. *Cycle time* mempengaruhi kinerja dari tiap fase. Kombinasi waktu siklus tiap fase dapat menghasilkan efisiensi yang optimum. Penambahan atau pengurangan waktu siklus dipengaruhi oleh fase yang terlibat. Pada pengolahan SBR satu fase misalnya fase aerobik, jika semakin lama siklus aerobik efisiensi penyisihan menurun. Namun pernyataan tersebut tidak berpengaruh apabila lebih dari satu fase.
 4. Kelebihan dari pengolahan SBR yaitu sistem pengolahan yang sangat fleksibel, relatif murah dan sangat efektif dalam penyisihan nutrisi. Kekurangan dari pengolahan SBR yaitu penggunaan sistem pengolahan SBR yang berukuran besar akan membutuhkan unit pengontrol otomatis yang lebih canggih sehingga membutuhkan biaya operasional dan perawatan yang lebih mahal, tidak efektif digunakan pada temperatur yang terlalu tinggi ($>40^{\circ}\text{C}$) dan temperatur terlalu rendah ($<5^{\circ}\text{C}$) dan pH pada SBR harus dikendalikan agar tidak berada di bawah 7,0.

5. Pengolahan SBR kedepannya dapat digunakan sebagai salah satu teknologi dalam menangani limbah nutrien. Pengolahan SBR memiliki efisiensi cukup tinggi dengan mengkombinasikan beberapa fase dari aerobik, anaerobik, anoksik dan oksik. Penyisihan amonia yang terjadi pada fase aerobik/oksik dan penyisihan gas nitrogen juga fosfor pada fase anaerobik/anoksik dapat tercapai. Kombinasi dari beberapa fase ini dapat meningkatkan laju penyisihan secara optimal.

5.2 Saran

Berikut adalah saran yang dapat dilakukan untuk meningkatkan perkembangan dari teknologi pengolahan SBR dalam penyisihan TN dan TP:

1. Penelitian mengenai pengolahan SBR dalam penyisihan TN dan TP baiknya lebih sering dilakukan dan skala penelitiannya ditingkatkan ke skala yang lebih besar.
2. Penelitian mengenai pengolahan SBR dalam penyisihan TN dan TP dapat dianalisis dampak lanjutannya terhadap lingkungan.
3. Membuat *literature review* atau penelitian mengenai *cycle time* yang dibutuhkan untuk menerapkan teknologi pengolahan SBR sesuai dengan fase dan influen limbah yang akan diolah.
4. Menganalisis kelayakan teknologi pengolahan SBR dari segi ekonomi.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Alifah, Taty., Dan Sinatriah, Afrah Zhafirah. 2017. **Pengolahan Lindi Pios Menggunakan Sequencing Batch Reactor (SBR) Pada Perbandingan F/M Rendah**. Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
- Azhdarpoor, Aboalfazl., Mohammadi, Payam., Dehghani, Mansoureh. 2014. **Removal Of Phosphate From Municipal Wastewater Using Anaerobic /Aerobic Modified SBR Reactor**. Shiraz University Of Medical Sciences. Iran
- Brown, Jeanette., 2005. **Biological Nutrient Removal (BNR) Operation in Wastewater Treatment Plants**.
- Chen, Fang-Yuan., Liu, Yong-Qiang., Hwa, Tay Joo., Ning, Ping. 2012. **Alternating Anoxic/Oxic Condition Combined With Step-Feeding Mode For Nitrogen Removal In Granular Sequencing Batch Reactors (Gsbrs)**. Separation and Purification Technology.
- Chen, Hongbo., Wang, Dongho., Li, Xiaoming., Yang, Qi., Luo, Kun., Zeng, Guangming. 2013. **Biological phosphorus removal from real wastewater in a sequencing batch reactor operated as aerobic/extended-idle regime**. Biochem. Eng. J. 77. 147–153.
- Curtin, Kay., Duerre, Steve., Fitzpatrick, Brian., and Meyer, Pam. 2011. **Biological Nutrient Removal**. Minnesota Pollution Control. 9- 13.
- Darmayanti, Lita. 2011. **Kinetika Penyisihan Nitrogen Dalam Air Buangan Rumah Potong Hewan Pada Sequencing Batch Reactor Aerob**. Jurnal Teknobiologi.
- Dohare, Er. Devendra., dan Kawale, Er. Mahesh. 2014. **Biological Treatment Of Wastewater Using Activated Sludge Process And Sequential Batch Reactor Process - A Review**. International Journal Of Engineering Sciences & Research Technology.
- Durai, G., Rajasimman, M., dan Rajamohan, N. 2011. **Kinetic studies on biodegradation of tannery wastewater in a sequential batch bioreactor**. Journal of Biotech Research

- Faouzi *et al.* 2013. **Contribution to optimize the biological treatment of synthetic tannery effluent by the sequencing batch reactor.** Maroco. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities (EJPAU)
- Haque, Eprilia A. 2017. **Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Dengan Sistem Lumpur Aktif Model Sbr Skala Laboratorium.** Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Jena, J., Kumar, R., Saifuddin, M., Dixit, A., Das, T., 2016. **Anoxic-aerobic SBR system for nitrate, phosphate and COD removal from high-strength wastewater and diversity study of microbial communities.** Biochem. Eng. J.
- Jena, J., Ray, S., Pandey, S., Das, T., 2013. **Effect of COD/N ratio on simultaneous removal of nutrients and COD from synthetic high strength waste water under anoxic conditions.** J. Sci. Ind. Res. 72, 127–131.
- Jena, Jyotsnarani., Narwade, Nitin., Das, Trupti., Dhotre, Dhiraj., Sarkar, Ujjaini., Souche, Yogesh. 2020. **Treatment Of Industrial Effluents And Assessment Of Their Impact On The Structure And Function Of Microbial Diversity In A Unique Anoxic-Aerobic Sequential Batch Reactor (Anasbr).** Journal of Environmental Management
- Li, Can., Liu, Shufeng., Ma, Tao., Zheng, Maosheng., Ni, Jinren. 2019. **Simultaneous Nitrification, Denitrification And Phosphorus Removal In A Sequencing Batch Reactor (SBR) Under Low Temperature.** Chemosphere
- Liu, Shuli., Daigger, Glen T., Liu, Bingtao., Zhao, Weiyan., Liu Jing. 2019. **Enhanced Performance Of Simultaneous Carbon, Nitrogen And Phosphorus Re- Moval From Municipal Wastewater In An Anaerobic-Aerobic-Anoxic Sequencing Batch Reactor (AOA-SBR) System By Alternating The Cycle times.** Bioresource Technology
- Liu, Shuli., dan Li, Jianzheng. 2015. **Accumulation and isolation of simultaneous denitrifying polyphosphate-accumulating organisms in an improved sequencing batch reactor system at low temperature.** International Biodeterioration & Biodegradation

- Luo, Dacheng., Yuan, Linjiang., Liu, Lun., Wang, Yang., Fan, Wenwen. 2018. **The mechanism of biological phosphorus removal under anoxic-aerobic alternation condition with starch as sole carbon source and its biochemical pathway.** Biochemical Engineering Journal
- Kuśmierczak. 2012. **Long-Term Cultivation Of An Aerobic Granular Activated Sludge.** Polandia. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities (EJPAU)
- Mahvi, A.H. 2008. **Sequencing Batch Reactor: A Promising Technology in Wastewater Treatment.** Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng. Vol. 5(2)
- Marin. 2015. **Nitrification And Aerobic Denitrification In Anoxic- Aerobic Sequencing Batch Reactor.** Argentina. Bioresource Technology
- Marsidi, Ruliasih., dan Herlambang, Ari. 2002. **Proses Nitrifikasi Dengan Sistem Biofilter Untuk Pengolahan Limbah cair Yang Mengandung Amoniak Konsentrasi Tinggi.** Jurnal Teknologi Lingkungan. Vol 3. 195.
- Metcalf, Eddy. 2003. **Wastewater Engineering Treatment and Reuse (4th ed.).** New York: Mc Graw Hill.
- Murat, S., Genceli, E. Ates., Tasli, R., Artan, N., Dan Orhon, D.. 2002. **Sequencing Batch Reactor Treatment Of Tannery Wastewater For Carbon And Nitrogen Removal.** Water Science And Technology. Vol 46.9: 219-227
- NEIWPACC. 2005. **Sequencing Batch Reactor Design and Operational Considerations.** Manual, New England.
- Patil, P. G., Kulkarni, G.S., Kore, Smt.S.V., Shri, M.Tech. 2013. **Aerobic Sequencing Batch Reactor For Wastewater Treatment: A Review.** Shivaji University. India
- Riffat, Rumana. 2013. **Fundamentals Of Wastewater Treatment And Engineering.** New York.
- Rio *et al.* 2011. **Aerobic granular SBR systems applied to the treatment of industrial effluents.** Chili. ELSEVIER
- Singh, Mohini., dan Srivastava, R.K. 2010. **Sequencing Batch Reactor Technology For Biological Wastewater Treatment: A Review.** Asia-Pacific Journal Of Chemical Engineering. Curtin University. India

- Sombatsompop *et al.* 2011. **A comparative study of sequencing batch reactor and moving- bed sequencing batch reactor for piggery wastewater treatment.** Bangkok. Maejo International Journal Science and technology
- Tam, H.L.S., Tang, D.T.W., Leung, W.Y., Ho, K.M., Greenfield, P.F. 2004. **Performance Evaluation Of Hybrid And Conventional Sequencing Batch Reactor And Continuous Processes.** Water Science And Technology. Vol 50.10: 59-65
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L. dan Stensel, H. D. 2003. **Waste Water Engineering: Treatment and Reuse.** Metcalf & Eddy Inc., New York.
- U.S.Environmental Protection Agency. 1999. **Wastewater Technology Fact Sheet: Sequencing Batch Reactors.**
- U.S.Environmental Protection Agency. 2010. **Nutrient Control Design Manual.**
- U.S.Environmental Protection Agency. 2013. **Aquatic Life Ambient Water Quality Criteria for Ammonia.**
- Uygur A, Kargi F. 2004. **Phenol inhibition of biological nutrient removal in a four-step sequencing batch reactor.** Process Biochemistry 39(12): 2123-2128
- Wang, Lawrence K., Nazih K. Shamma and Yung Tse Hung. 2009. **Advanced Biological Treatment Processes.**
- Xu *et al.* 2013. **Enhanced biological nutrient removal in sequencing batch reactors operated as static/oxic/anoxic (SOA) process.** Cina. Elsevier
- Zhao, Weihua., Zhang, Yong., Lv, Dongmei., Wang, Meixiang., Peng, Yongzhen., Li, Baikun. 2016. **Advanced Nitrogen And Phosphorus Removal In The Pre-Denitrification Anaerobic/ Anoxic/Aerobic Nitrification Sequence Batch Reactor (Pre-A₂NSBR) Treating Low Carbon/Nitrogen (C/N) Wastewater.** Chemical Engineering Journal.

BIOGRAFI PENULIS



Tugas Akhir ini ditulis oleh Arum Alfianur Ikhwan, anak pertama dari dua bersaudara dengan adik yang bernama Erina Dwi Maulindia putri dari bapak Zainul Ikhwan dan ibu Endang Sri Rahayu. Penulis lahir di Jombang pada tanggal 18 Januari 1999. Penulis pernah menjalani pendidikan di MI Nizhamiyah Jatigedong, lulus tahun 2010 dan dilanjutkan di Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Ploso, lulus tahun 2013. Tahun 2016 penulis lulus pendidikannya di Sekolah Menengah Kejuruan Negeri Kabuh dengan jurusan Kimia Industri dan penulis diterima di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya Program Studi Teknik Pengolahan Limbah. Penulis aktif dalam berbagai organisasi di kampus dimulai dari Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) sebagai staff magang hingga sebagai staff ahli divisi Sosial Masyarakat pada tahun 2016-2018. Pada tahun 2017 penulis juga pernah tergabung pada Sie Kerohanian Islam (SKI) dan Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Pramuka dan UKM Cinta Seni Islami. Penulis juga aktif dalam organisasi masyarakat seperti Pergerakan Mahasiswa Islam Indonesia (PMII) Sepuluh Nopember dan Ikatan Pelajar Putri Nahdlatul ‘Ulama (IPPNU) kecamatan Ploso kabupaten Jombang. Penulis pernah menjalani On The Job Training (OJT) di PT.Cheil Jedang Indonesia di kecamatan Ploso kabupaten Jombang pada tahun 2019. Dengan motivasi yang tinggi penulis telah berhasil menyelesaikan pengerjaan Tugas Akhir ini dengan harapan mampu memberikan kontribusi positif bagi masyarakat. Penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya atas terselesaikannya tugas akhir yang berjudul “*Literature Review: Cycle Time dan Kondisi Operasi Pengolahan Biologis Sequencing Batch Reactor (SBR) dalam Penyisihan TN dan TP*”.