

**Pengaruh Variasi Rasio Waktu Reaksi terhadap Waktu Stabilisasi pada
Penyisihan Senyawa Organik dari Air Buangan Pabrik Minyak Kelapa Sawit
dengan *Sequencing Batch Reactor* Aerob**

***Effect of Ratio of Reaction Time to Stabilization Time in Organic Compound
Removal from Palm Oil Industry Wastewater in Aerobic
Sequencing Batch Reactor***

Oleh

Denny Helard, MT

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas

ABSTRAK

Sequencing Batch Reactor (SBR) aerob merupakan salah satu unit proses yang digunakan untuk mengolah air buangan dengan kandungan organik yang tinggi. Penelitian ini menggunakan reaktor SBR aerob untuk menyisihkan senyawa organik dari air buangan Pabrik Minyak Kelapa Sawit (PMKS) yang dioperasikan sebanyak tiga kali dengan masing-masingnya tiga kali siklus. Setiap siklus memiliki tahapan proses yaitu pengisian, reaksi, pengendapan, pengurasan dan stabilisasi yang semuanya dilakukan dalam satu reaktor. Air buangan yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari efluen kolam anaerob PMKS PT. PT AMP Plantation, Kabupaten Agam, Sumatera Barat. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan waktu reaksi terhadap waktu stabilisasi, yaitu 4:4 jam/jam, 6:4 jam/jam, 4:6 jam/jam dan 6:6 jam/jam. Parameter yang diukur adalah: BOD, COD, VSS, DO, pH dan temperatur. Konsentrasi influen berada dalam rentang 1363,78-2015,31 mg COD/L. Dengan sistem ini, senyawa organik yang dapat direduksi dengan efisiensi rata-rata pada rasio waktu reaksi terhadap waktu stabilisasi (r:s) 4:4 jam/jam sebesar 61,33%; r:s 6:4 jam/jam sebesar 86,60%; r:s 4:6 jam/jam sebesar 59,65%; dan r:s 6:6 jam/jam sebesar 67,35%. Pengolahan air buangan PMKS dengan SBR aerob ini memberikan hasil yang cukup baik terutama jika dibandingkan dengan hasil pengolahan air buangan PMKS dengan metoda yang lain. Peningkatan waktu reaksi dari 4 jam menjadi 6 jam dapat meningkatkan efisiensi penyisihan senyawa organik dari air buangan PMKS. Hal ini disebabkan karena lebih panjangnya waktu kontak antara mikroorganisma dengan air buangan pada kondisi substrat yang berlebih sehingga proses degradasi senyawa organik dapat berjalan optimal.

Kata kunci: sequencing batch reactor (SBR) aerob, PMKS, waktu reaksi, waktu stabilisasi.

ABSTRACT

Aerobic Sequencing Batch Reactor (SBR) is one of unit process of wastewater treatment for high organic compound removal. This research has done by using aerobic SBR for palm oil industries wastewater treatment. To know the SBR reactor performance to treat wastewater of palm oil industries wastewater, this research was done at 4 (four) time ratios of reaction to stabilization time that were 4:4 hour/hour, 6:4 hour/hour, 4:6 hour/hour, and 6/6 hour/hour. The result showed that for the concentration of organic compound as influent was about 1350 mg COD/L, the

efficiencies at ratio of reaction time to stabilization time (r : s) 4:4 jam/jam ; r:s 6:4 jam/jam ; r:s 4:6 jam/jam and r:s 6:6 jam/jam were 61,33%, 86,60%, 59,65%, 67,35%, respectively. The increasing of reaction time from 4 hours to 6 hours could increase the removal efficiency of organic compound in palm oil industries wastewater.

Keyword: SBR aerob, palm oil's factory wastewater, reaction time, stabilization time.

1. PENDAHULUAN

Limbah pabrik minyak kelapa sawit (PMKS) yang mengandung sejumlah padatan tersuspensi, terlarut, dan mengambang merupakan bahan-bahan organik dengan konsentrasi tinggi (BOD limbah mencapai 25.000 mg/l) (Ginting, 1996). Selain itu kebutuhan air untuk proses ekstraksi minyak kelapa sawit dari tandan buah segar (TBS) sangat besar. Jumlah air yang dibutuhkan rata-rata mencapai 1,5 m³/ton TBS yang digiling. Dari jumlah tersebut sekitar 1,2 m³ diantaranya dikeluarkan sebagai limbah, atau sekitar 2,5 ton limbah/ton produksi minyak jika diperkirakan berdasarkan produksi minyak (Cornelius, 1983). Dengan beban yang demikian besar, air buangan PMKS akan menjadi sumber pencemar potensial bagi lingkungan. Jumlah air buangan PMKS yang besar dengan kandungan organik dan nutrien yang tinggi dan bersifat asam, bila dibuang ke badan air tanpa pengolahan terlebih dahulu akan menurunkan kualitas perairan yang secara langsung akan berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia.

Salah satu alternatif yang bisa diterapkan untuk mengolah air buangan PMKS yang telah melalui proses pengolahan fisis dan pendahuluan adalah sistem biologis *Sequencing Batch Reactor* (SBR). Sistem SBR bisa dilakukan secara aerob dan anaerob. SBR merupakan suatu proses yang bersifat siklus dan beroperasi pada persaingan antara siklus dari reaksi yang terjadi dalam reaktor. Siklus SBR akan terdiri dari lima fase yaitu pengisian (*fill*), reaksi (*react/batch*), pengendapan (*settle*), pengurasan (*draw*), dan stabilisasi (*idle*). Semua tahapan proses tersebut berlangsung dalam suatu reaktor sehingga memudahkan pengelolaannya. Pada penelitian ini yang akan digunakan adalah SBR aerob. Proses aerob dipilih karena proses ini bisa digunakan untuk menyisihkan bahan organik terlarut dengan konsentrasi 50-4000 mg COD/L yang sesuai dengan karakteristik limbah kelapa sawit yang telah mengalami proses pengolahan pendahuluan. Selain itu proses aerob juga memiliki kelebihan yaitu tidak menimbulkan bau, waktu detensi singkat, dan efisiensi penggunaan ruang yang tinggi.

Penelitian menggunakan SBR yang telah diterapkan secara luas untuk jenis air buangan yang bervariasi terbukti memiliki efisiensi penyisihan yang memuaskan sehingga penggunaan SBR aerob untuk mengolah air buangan pabrik minyak kelapa sawit yang telah mengalami proses pengolahan fisis dan pendahuluan menjadi sangat mungkin untuk dilakukan dan dikembangkan. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kinerja reaktor SBR aerob dalam menyisihkan senyawa organik dari air buangan PMKS dengan melakukan perlakuan variasi waktu raksi terhadap waktu stabilisasi.

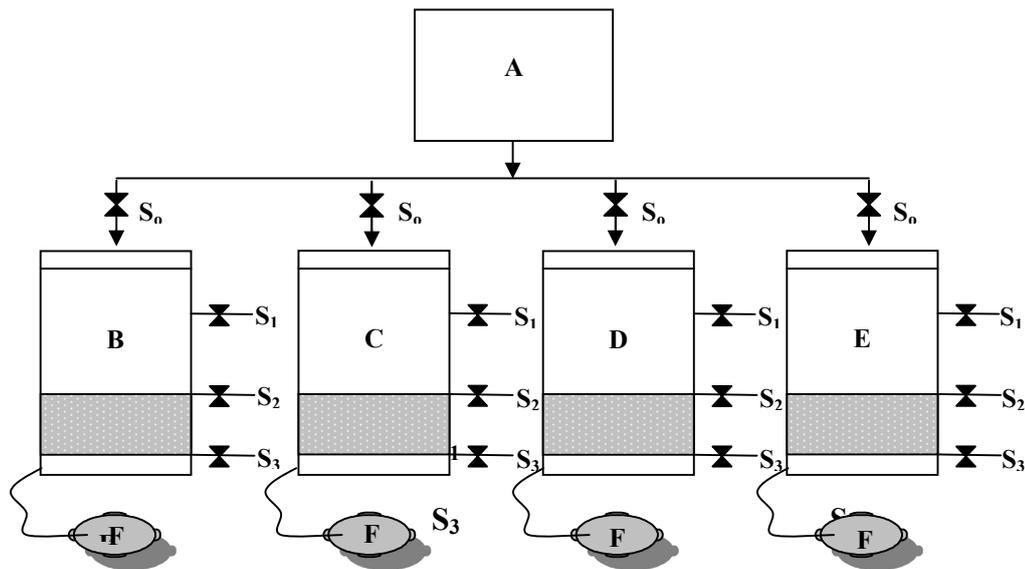
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *Sequencing Batch Reactor* (SBR) aerob dalam beberapa tahapan yaitu studi literatur, persiapan reaktor, alat dan bahan, pengkondisian reaktor (aklimatisasi), proses pengolahan (*running*), pengolahan dan analisis data, dan penyusunan laporan.

2.1. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Reaktor jenis *Circulating Bed Reactor* (CBR) yang dioperasikan secara SBR yang terbuat dari *plexiglass* sebanyak lima (5) buah berkapasitas 5 liter dan ukuran tinggi 30 cm, panjang 16 cm, dan lebar 10 cm. Empat (4) buah reaktor digunakan untuk *running*, masing-masing untuk satu rasio waktu dan satu lagi digunakan untuk cadangan biomassa. Reaktor dilengkapi dengan *sparger* pada dasar reaktor yang dipenuhi dengan lubang-lubang pada setengah bagian luasnya untuk mengalirkan udara sehingga diharapkan akan tercipta kondisi tercampur sempurna. Skema alat dapat dilihat pada gambar 2.1.
- *Air pump* untuk masing-masing reaktor, berfungsi untuk suplai oksigen, dan untuk pengadukan substrat di dalam reaktor dengan pemberian udara melalui *sparger*.
- Tangki pengisi influen yang ditempatkan pada posisi yang lebih tinggi dari reaktor sehingga dapat mengalirkan influen secara gravitasi dengan debit 2 L/jam.



Gambar 2.1 Instalasi SBR

Keterangan:

- A : Tangki Penampung Influen/ umpan
- B : Reaktor untuk rasio 4:4 jam/jam
- C : Reaktor untuk rasio 4:6 jam/jam
- D : Reaktor untuk rasio 6:4 jam/jam
- E : Reaktor untuk rasio 6:6 jam/jam
- F : Pompa Aerasi
- S_0 : Titik sampling influen
- S_1, S_2, S_3 : Titik-titik sampling dan efluen

2.2. Kriteria Desain Reaktor

Kriteria desain yang digunakan untuk pembebanan organik (F/M) berkisar antara 0,04-0,06 COD mg/l / MLVSS mg/l/hari yang mengacu pada kriteria desain Innocentia, L., et al., (2002) yang berada pada kisaran 0,02-0,08 CODmg/l / MLVSS mg/l/hari.

2.3. Pengkondisian Reaktor

2.3.1. Pembibitan (*Seeding*)

Proses *seeding* dilakukan untuk mengembangbiakkan mikroorganisme sehingga didapatkan jumlah biomassa yang mencukupi untuk mengolah air buangan pabrik minyak kelapa sawit. Bibit mikroorganisme diambil dari lumpur kolam pengolahan air buangan pabrik minyak kelapa sawit yang ditumbuhkan secara aerob. Pada tahap *seeding* ini yang perlu diperhatikan adalah konsentrasi zat organik (substrat), dan VSS. Pada awalnya digunakan campuran air buangan dengan glukosa dengan perbandingan 25:75. Konsentrasi glukosa dikurangi secara bertahap sampai akhirnya digunakan air buangan pabrik minyak kelapa sawit 100%.

Selama periode waktu detensi tertentu dilakukan pemeriksaan parameter organik, VSS, TSS, pH, dan temperatur. Terjadinya penambahan biomassa ditandai dengan warna lumpur yang semakin gelap (coklat kehitaman). Konsentrasi oksigen terlarut (DO) selalu dijaga di atas 4 mg/l untuk memastikan proses aerob dapat berlangsung dengan baik. Temperatur juga dijaga pada temperatur kamar, selain itu pH juga dijaga agar tetap dalam kisaran normal yaitu berkisar antara 7,0-8,5 dengan cara penambahan larutan asam atau basa.

2.3.2. Aklimatisasi

Proses aklimatisasi dilakukan untuk mendapatkan suatu kultur mikroorganisme yang stabil dan dapat beradaptasi dengan air buangan pabrik kelapa sawit yang telah disiapkan. Selama masa aklimatisasi kondisi dalam reaktor dibuat tetap aerob dengan menjaga konsentrasi, temperatur, dan pH. Proses ini dilakukan secara *batch*.

Ke dalam masing-masing reaktor ditambahkan secara bertahap air buangan pabrik minyak kelapa sawit dengan konsentrasi yang semakin meningkat. Peningkatan konsentrasi secara bertahap ini bertujuan untuk menghindari terjadinya pembebanan tiba-tiba (*shock loading*) yang dapat mematikan mikroba, dan untuk menyeleksi mikroba yang mampu mengolah air buangan pabrik minyak kelapa sawit sesuai dengan kondisi operasi nantinya.

Proses aklimatisasi dapat dianggap selesai jika pH, VSS, temperatur, dan efisiensi penyisihan senyawa organik telah konstan dengan fluktuasi yang tidak lebih dari 10%. Sebelum reaktor dioperasikan, terlebih dahulu dihitung konsentrasi air buangan pabrik minyak kelapa sawit yang nantinya dijadikan konsentrasi pada saat pengoperasian reaktor tanpa divariasikan.

2.4. Pengoperasian Reaktor

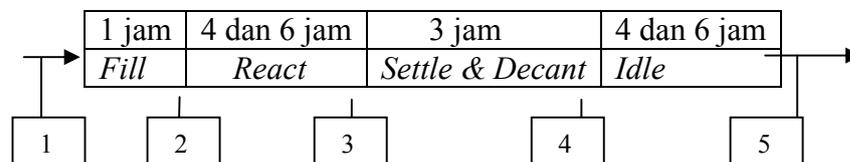
Setelah masa aklimatisasi selesai, dimana mikroorganisma diperkirakan sudah cukup mampu untuk mengolah air buangan PMKS secara SBR maka reaktor siap dioperasikan. Operasi dilakukan sesuai dengan tahapan SBR yaitu pengisian, reaksi, pengendapan, pengurasan, dan stabilisasi. Yang menjadi perhatian pada penelitian ini adalah tahap reaksi dan stabilisasi. Pengoperasian reaktor dilakukan dengan menggunakan 4 buah reaktor dengan rasio waktu reaksi terhadap waktu stabilisasi

(r:s) yaitu 4:4, 4:6, 6:4, dan 6:6 jam/jam. Reaktor dioperasikan untuk 3 kali *running* dengan jarak antar *running* 1 minggu. Hal ini dilakukan agar reaktor cukup stabil untuk dioperasikan dan dilakukan penambahan biomassa dari reaktor cadangan Satu kali pengoperasian terdiri dari 3 kali siklus, sehingga total waktu untuk 1 kali *running* untuk reaktor 4:4, 4:6, 6:4, dan 6:6 jam/jam dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Waktu dan Tahapan Pengoperasian SBR Aerob

Tahapan SBR	Rasio Waktu Reaksi terhadap Stabilisasi (jam:jam)				Aerasi
	4 : 4	4 : 6	6 : 4	6 : 6	
<i>Fill</i> (pengisian), <i>React</i> (reaksi), <i>Settle</i> (pengendapan) dan <i>Decant</i> (pengurasan), <i>Idle</i> (stabilisasi)	1 jam 4 jam 3 jam 4 jam	1 jam 4 jam 3 jam 6 jam	1 jam 6 jam 3 jam 4 jam	1 jam 6 jam 3 jam 6 jam	on on off on
Waktu untuk 1 Siklus	12 jam	14 jam	14 jam	16 jam	
Waktu Total	36 jam	42jam	42 jam	48 jam	

Titik-titik sampling adalah influen, akhir pengisian atau awal reaksi, kondisi reaktor pada akhir reaksi, supernatan, dan lumpur pada akhir tahap stabilisasi. Titik pengambilan sampel yang dimaksud dapat dilihat pada gambar 5.4 berikut.



Gambar 2.3 Titik Pengambilan Sampel

Keterangan:

1. Influen reaktor
2. Substrat pada akhir tahap pengisian (*fill*)
3. Substrat pada akhir tahap reaksi (*react*)
4. Supernatan pada akhir tahap pembuangan (*decant*)
5. Lumpur pada akhir tahap stabilisasi (*idle*)

2.5. Pengukuran Parameter

Untuk tiap sampel, pengukuran parameter dilakukan secara triplo. Parameter yang akan diukur selama penelitian ini adalah BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), VSS (*Volatile Suspended Solid*), dan parameter lingkungan yang mencakup: temperatur, pH, dan DO (*Dissolved Oxygen*). Analisis parameter BOD, COD, dan VSS dilakukan mengacu pada *Standard Methods* (APHA, AWWA, WEF, 1998)

BAB III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Tahap Pembibitan (*Seeding*) dan Aklimatisasi

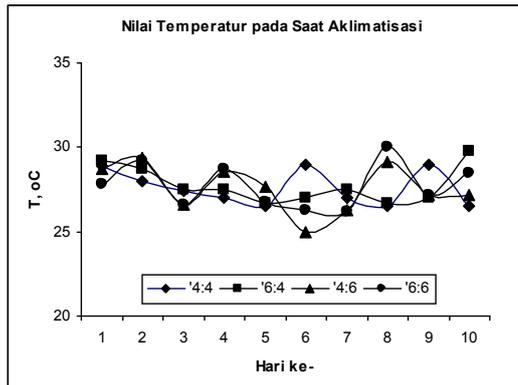
Kegiatan pembibitan dan aklimatisasi berlangsung selama ± 2 (dua) bulan. *Seeding* dilakukan pada 5 buah reaktor (4 reaktor untuk *running*, 1 reaktor untuk cadangan). Pada proses *seeding*, reaktor diisi dengan campuran air buangan dan glukosa dengan rasio 25:75 (merupakan perbandingan konsentrasi), kemudian glukosa dikurangi sedikit demi sedikit sampai akhirnya digunakan air buangan seluruhnya. Kebutuhan nitrogen dan fosfor secara umum didasarkan pada rasio air buangan dengan rasio COD:N:P sebesar 100:5:1 (Benefield dan Randall, 1980).

Pada proses *seeding* dan aklimatisasi diperlukan suatu kondisi lingkungan yang mendukung untuk tumbuh dan berkembangnya mikroorganisme secara optimal. Jika pH cenderung asam, dilakukan penambahan basa (NaOH), sebaliknya jika pH cenderung basa dilakukan penambahan asam (H_2SO_4). Jika terjadi kekurangan biomassa pada reaktor (ditentukan dengan pengukuran VSS), maka ditambahkan biomassa dari reaktor cadangan. Pada masa aklimatisasi parameter yang diukur adalah persentase penyisihan zat organik (COD), VSS, pH, DO dan temperatur. Pemeriksaan kandungan organik air buangan dilakukan pada influen dan efluen hasil pengolahan, sehingga diperoleh persentase penyisihan. Pengukuran kandungan organik dilakukan dengan menggunakan metoda permanganat ($KMnO_4$). Pemilihan metoda ini, dibandingkan dengan metoda kromat ($K_2Cr_2O_7$) yang lebih teliti, hanya karena pertimbangan biaya.

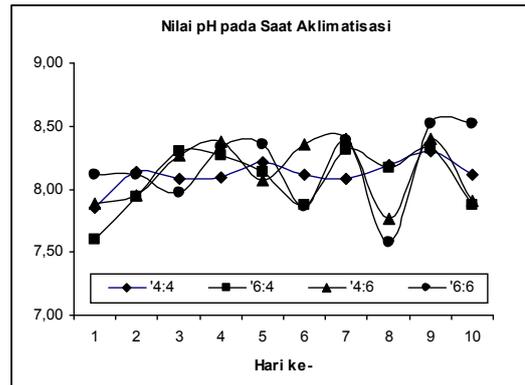
Proses aklimatisasi dilakukan dengan rasio waktu yang sama dengan waktu *running*. Proses ini dilakukan sampai didapatkan kandungan organik, pH, dan temperatur di dalam reaktor cenderung konstan dengan fluktuasi yang tidak lebih dari 10%. Selama masa aklimatisasi, penyisihan zat organik terus meningkat dan akhirnya relatif stabil. pH berada dalam rentang yang masih dapat ditolerir oleh bakteri yaitu 7,5-8,5. Bila pH berada sedikit pada kondisi alkali, 6-9, maka bakteri akan tumbuh paling baik (Atlas & Bartha, 1991). Temperatur berada pada kondisi yang mendukung yaitu berkisar $(25-30,2)^\circ C$, jumlah kebutuhan oksigen juga cukup untuk kebutuhan pengolahan yaitu dalam rentang yaitu 2,13-8,29 mg/l. (diatas 2 mg/l). Penyisihan zat organik yang terjadi pada reaktor berkisar 15,29-60,25% dengan fluktuasi pada akhir masa aklimatisasi telah memenuhi syarat yaitu tidak lebih dari 10%. Secara berturut-turut, penyisihan pada akhir masa aklimatisasi untuk reaktor 4:4 jam/jam, 6:4 jam/jam, 4:6 jam/jam, dan 6:6 jam/jam, adalah 54,17%, 53,14%, 53,37%, dan 54,85%. Grafik performa reaktor pada masa pembibitan dan aklimatisasi ini dapat dilihat pada gambar 3.1 sampai dengan 3.5 berikut.

3.2. Kinerja SBR-aerob dalam Menyisihkan Senyawa Organik

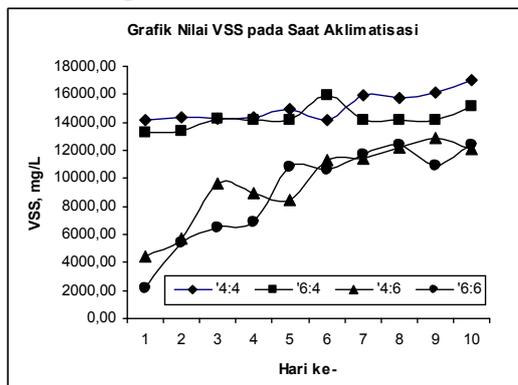
Untuk mengetahui pengaruh rasio waktu reaksi terhadap waktu stabilisasi (r:s) dalam penyisihan bahan organik dan konsentrasi biomassa, maka dilakukan penelitian dengan 4 variasi waktu reaksi terhadap stabilisasi yaitu 4:4 jam/jam, 6:4 jam/jam, 4:6 jam/jam dan 6:6 jam/jam. Reaktor yang digunakan 5 buah (4 reaktor utama dan 1 reaktor cadangan) dengan 3 variasi waktu yang ditetapkan. Setiap reaktor dioperasikan sebanyak 3 kali *running* dan masing-masingnya terdiri dari 3 siklus yang berurutan. Jarak antara masing-masing *running* adalah satu minggu untuk mengetahui performa/kestabilan reaktor. Pengambilan data dilakukan secara triplo.



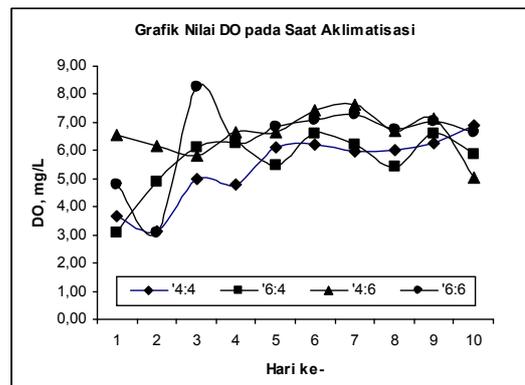
Gambar 3.1. Grafik Nilai Temperatur pada saat Aklimatisasi



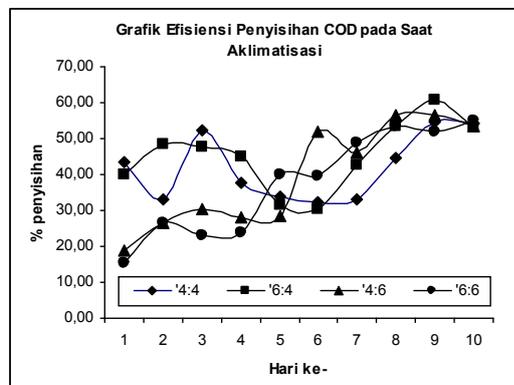
Gambar 3.2. Grafik Nilai pH pada saat Aklimatisasi



Gambar 3.3. Grafik Nilai VSS pada saat Aklimatisasi



Gambar 3.4. Grafik Nilai DO pada saat Aklimatisasi

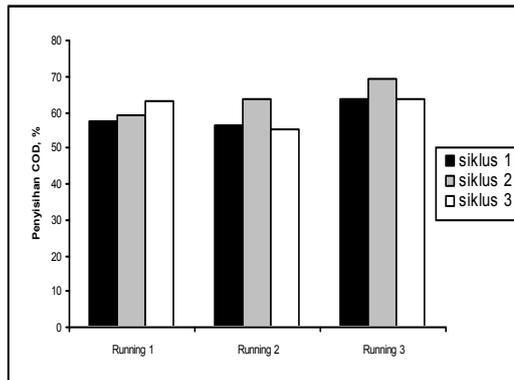


Gambar 3.5. Grafik Efisiensi Penyisihan COD pada saat Aklimatisasi

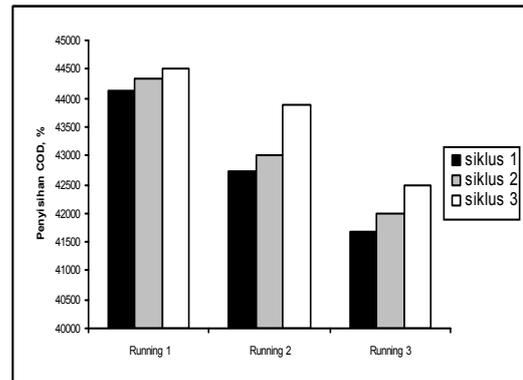
3.2.1. Pada Rasio Waktu Reaksi terhadap Waktu Stabilisasi 4:4 jam/jam

Kinerja reaktor SBR aerob pada rasio r:s 4:4 jam/jam untuk setiap siklus pada setiap running dapat dilihat pada gambar 3.6 dan 3.7. Dari grafik yang disajikan jelas terlihat bahwa penyisihan senyawa organik dari running satu, dua, dan tiga memperlihatkan tingkat penyisihan yang tidak jauh berbeda (fluktuasi kurang dari 10%), demikian juga yang terjadi pada setiap siklus dalam tiap running. Hal ini menandakan bahwa kultur mikroorganismenya yang berada dalam reaktor dapat beradaptasi dengan baik terhadap perubahan beberapa parameter proses seperti pembebanan massa, temperatur, pH, dan DO.

Pertumbuhan biomassa pada ketiga running memperlihatkan pola yang hampir sama dimana pada siklus satu pertumbuhan mikroorganisma meningkat lalu menurun secara bertahap pada siklus dua dan tiga (lihat tabel 3.1). Rendahnya pertumbuhan mikroorganisma disebabkan oleh kecilnya rasio F/M yang digunakan yaitu berkisar 0,04 – 0,06 dan penurunan jumlah biomassa ini disebabkan karena adanya pengambilan pada setiap fase untuk kebutuhan analisis sampel.



Gambar 3.7. Grafik Efisiensi Penyisihan Organik SBRaerob pada Rasio r:s = 4:4 jam/jam



Gambar 3.8. Grafik Pertumbuhan Biomassa SBRaerob pada Rasio r:s = 4:4 jam/jam

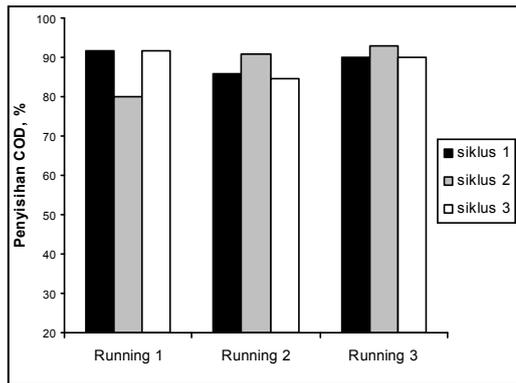
Tabel 3.1. Nilai F/M pada Rasio r:s 4:4 jam/jam

Fase	Siklus 1	Siklus 2	Siklus 3
Running 1	0,050	0,046	0,050
Running 2	0,058	0,059	0,059
Running 3	0,057	0,053	0,052

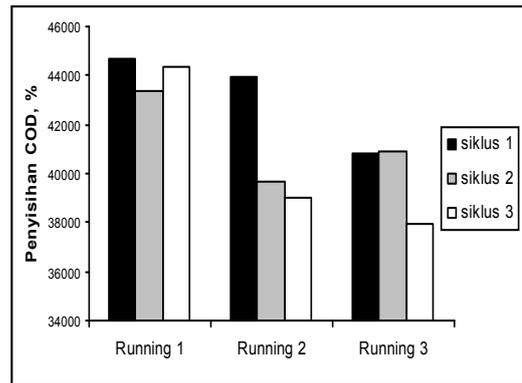
3.2.2. Pada Rasio Waktu Reaksi terhadap Waktu Stabilisasi 6:4 jam/jam

Perbandingan kinerja reaktor SBR aerob pada rasio r:s 6:4 jam/jam dapat dilihat pada gambar 3.9. Pada gambar terlihat bahwa fluktuasi penyisihan senyawa organik antar siklus tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Perbedaan efisiensi penyisihan yang terjadi dapat disebabkan oleh utilisasi substrat yang berbeda, keadaan lingkungan reaktor, serta pembebanan yang diberikan. F/M yang digunakan, yang berada pada kisaran 0,04 – 0,06 (tabel 3.2), berdampak pada rendahnya pertumbuhan mikroorganisma karena pada saat pembebanan rendah maka stu mol sunstrat akan dikonversi menjadi 0,7 mol karbondioksida dan 0,3 mol massa sel, namun tingkat utilisasi substrat akan meningkat (Gallert, C. and Winter, J., 2005).

Pertumbuhan biomassa untuk ketiga siklus pada masing-masing running dapat dilihat pada gambar 3.10. Adanya penurunan pertumbuhan mikroorganisma pada setiap siklus disebabkan karena adanya pengulangan siklus yang tanpa henti dari satu siklus ke siklus berikutnya. Hal ini mengakibatkan terjadinya perubahan lingkungan proses dari waktu ke waktu (Wilderer, 1991 dalam Darmayanti, 2002).



Gambar 3.10. Grafik Efisiensi Penyisihan Organik SBRaerob pada Rasio r:s = 6:4 jam/jam



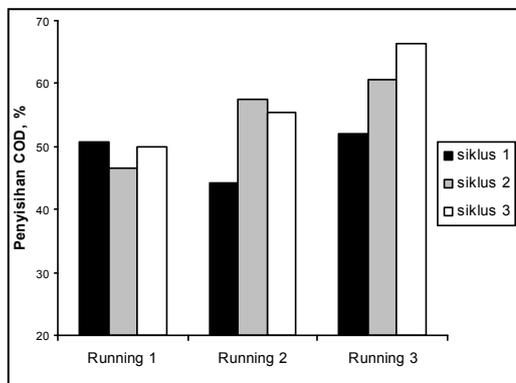
Gambar 3.11. Grafik Pertumbuhan Biomassa SBRaerob pada Rasio r:s = 6:4 jam/jam

Tabel 3.2. Nilai F/M pada Rasio r:s 6:4 jam/jam

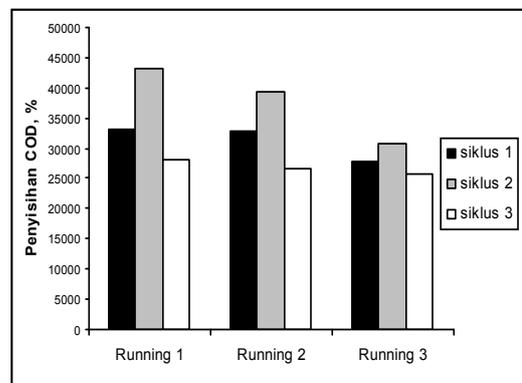
Fase	Siklus 1	Siklus 2	Siklus 3
Running 1	0,042	0,043	0,040
Running 2	0,059	0,057	0,060
Running 3	0,050	0,044	0,049

3.2.3. Pada Rasio Waktu Reaksi terhadap Waktu Stabilisasi 4:6 jam/jam

Perbandingan kinerja reaktor SBR aerob pada rasio r:s 4:6 jam/jam dapat dilihat pada gambar 3.12 dan 3.13. Pada gambar terlihat bahwa fluktuasi penyisihan senyawa organik antar siklus tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan.



Gambar 3.12. Grafik Efisiensi Penyisihan Organik SBRaerob pada Rasio r:s = 4:6 jam/jam



Gambar 3.13. Grafik Pertumbuhan Biomassa SBRaerob pada Rasio r:s = 4:6 jam/jam

Pada *running* ketiga adalah kondisi reaktor yang paling stabil dibandingkan dengan *running* sebelumnya. Selain itu, tingkat efisiensi penyisihan organik yang dapat dicapai adalah yang paling besar diantara ketiga *running*. Namun, secara umum efisiensi penyisihan organik yang dicapai reaktor pada rasio waktu 4:6 jam/jam tidak begitu bagus, rata-rata 59,65%. Rasio F/M yang digunakan untuk melihat pertumbuhan dan kondisi sel ditunjukkan pada tabel 3.3. Pada tabel dapat dilihat bahwa F/M yang terjadi masih berada dalam rentang 0,04-0,20 (US EPA (TFS3), 1997) Penyisihan yang rendah ini disebabkan pendeknya waktu reaksi sehingga

kontak antara biomassa dengan substrat tidak begitu efektif, sedangkan waktu stabilisasi lebih panjang.

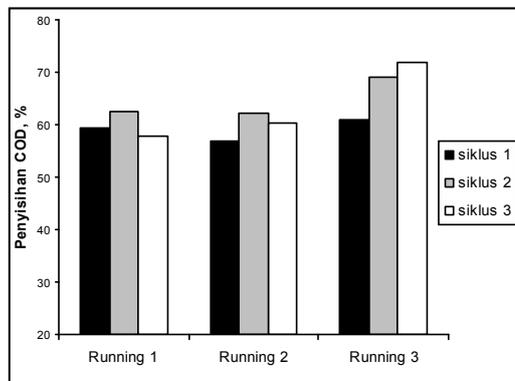
Tabel 3.3. Nilai F/M pada Rasio r:s 4:6 jam/jam

Fase	Siklus 1	Siklus 2	Siklus3
<i>Running 1</i>	0,09	0,09	0,08
<i>Running 2</i>	0,06	0,05	0,07
<i>Running 3</i>	0,17	0,09	0,09

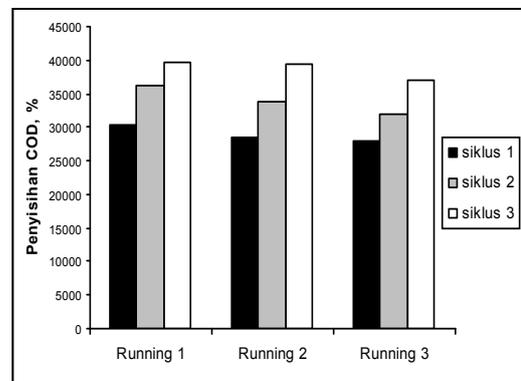
3.2.4. Pada Rasio Waktu Reaksi terhadap Waktu Stabilisasi 6:6 jam/jam

Pada *Running 1* penyisihan organik yang dapat dicapai sebesar 60,97%, pada *running 2* penyisihan organiknya yaitu 69,13%, dan pada *running 3* penyisihan organik dapat mencapai rata-rata 71,94% (lihat gambar 3.14 dan 3.15). Pada *running* ketiga adalah kondisi reaktor yang paling stabil dibandingkan dengan *running* sebelumnya. Namun, secara umum efisiensi penyisihan organik yang dicapai reaktor pada rasio waktu 6:6 jam/jam cukup baik untuk pengolahan, yaitu rata-rata 67,35%.

Setelah waktu reaksi diperpanjang menjadi 6 jam, dapat dilihat penyisihan organik lebih stabil dan lebih baik. Proses stabilisasi yang baik juga berperan penting karena proses pelaparan yang terjadi akan membuat mikroorganisme siap menyisihkan bahan organik yang dimasukkan pada siklus berikutnya. Informasi rasio F/M dapat dilihat pada tabel 3.4. Penyisihan organik yang terjadi merupakan aktivitas biomassa yang memanfaatkan bahan yang terdapat dalam air buangan sebagai substrat dan faktor lingkungan yang mendukung.



Gambar 3.14. Perbandinga Efisiensi Penyisihan Organik SBRAerob pada Rasio r:s = 6:6 jam/jam



Gambar 3.15. Perbandingan Pertumbuhan Biomassa SBRAerob pada Rasio r:s = 6:6 jam/jam

Tabel 3.4. Nilai F/M pada Rasio r:s 6:6 jam/jam

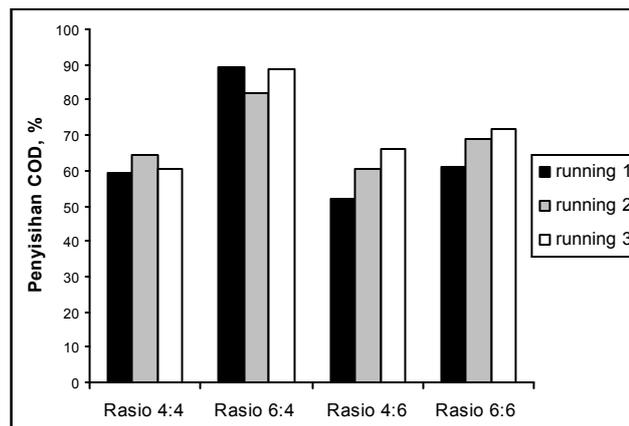
Fase	Siklus 1	Siklus 2	Siklus3
<i>Running 1</i>	0,09	0,08	0,08
<i>Running 2</i>	0,06	0,07	0,07
<i>Running 3</i>	0,09	0,06	0,07

3.2.5. Perbandingan Kinerja Reaktor SBRaerob pada Rasio Waktu Reaksi terhadap Waktu Stabilisasi 4:4, 6:4, 4:6, dan 6:6 jam/jam

Tujuan dilakukannya perbandingan kinerja dari rasio r:s 4:4, 6:4, 4:6, dan 6:6 jam/jam adalah untuk mengetahui apakah perlakuan yang diberikan memberikan dampak yang berarti terhadap kinerja dari reaktor dalam menyisihkan senyawa organik. Efisiensi penyisihan senyawa organik pada akhir batch untuk rasio r:s = 4:4 pada setiap runningnya secara berturut-turut adalah 59,28%, 64,14%, dan 60,58%; pada rasio r:s = 6:4 adalah 89,22%, 87,91%, dan 88,68%; pada rasio r:s 4:6 adalah 51,95%, 60,64%, dan 66,35%; sementara pada rasio r:s = 6:6 adalah 60,97%; 69,13%; dan 71,94% (lihat tabel 3.5 dan gambar 3.16).

Tabel 3.5 Persentase Penyisihan Yang Dapat Dicapai Masing-Masing Reaktor

Running	Rasio 4:4 jam/jam (%)	Rasio 6:4 jam/jam (%)	Rasio 4:6 jam/jam (%)	Rasio 6:6 jam/jam (%)
1	59.28	89.22	51,95	60,97
2	64.14	81.91	60,64	69,13
3	60.58	88.68	66,35	71,94



Gambar 3.16. Perbandingan Efisiensi Penyisihan Organik SBRaerob yang Dapat Dicapai pada Masing-masing Rasio r:s

Dari hasil penelitian yang diperoleh dapat dilihat bahwa penambahan waktu reaksi dari 4 jam menjadi 6 jam dapat meningkatkan persentase penyisihan senyawa organik. Semakin panjang waktu reaksi, kontak antara biomassa dengan air buangan makin lama sehingga penyisihan yang didapat lebih baik. Waktu kontak yang panjang diperlukan karena air buangan PMKS terdiri dari bahan organik yang cukup kompleks seperti protein dan lemak sehingga untuk menguraikannya dibutuhkan waktu yang lebih lama. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Darmayanti (2002) yang menyatakan bahwa untuk perpanjangan waktu reaksi akan menghasilkan penyisihan organik yang lebih baik. Namun bukan berarti bahwa jika waktu raksinya diperpanjang lagi penyisihan akan semakin baik karena tingkat penyisihan dalam suatu peride waktu ditentukan oleh banyak faktor terutama konsentrasi biomassa, konsentrasi organik yang dapat dimanfaatkan, dan proses stabilisasi.

Selain itu, hal ini juga sesuai dengan penelitian Helard (2003) yang menyatakan bahwa peningkatan waktu stabilisasi tidak berpengaruh pada peningkatan efisiensi penyisihan organik. Proses stabilisasi yang optimal sangat berperan dalam menciptakan keadaan lumpur yang stabil karena pada fase ini terjadi proses pelaparan sehingga mikroorganisma siap melaksanakan siklus selanjutnya. Strategi pengoperasian dengan lama waktu stabilisasi 4 jam dirasa cocok dengan beban organik air buangan PMKS yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 1350 mg COD/L, ini terlihat dari stabilnya konsentrasi biomassa pada saat akhir idle untuk keempat reaktor. Nuraini (2002), dalam penelitiannya memvariasikan waktu stabilisasi untuk mengolah air buangan rumah potong hewan dengan menggunakan SBRaerob, juga menyimpulkan stabilisasi yang paling baik untuk efisiensi pengolahan air buangan adalah 4 jam dan menyimpulkan dengan semakin lamanya waktu stabilisasi maka akan semakin banyak pula mikroorganisma yang mengalami lisis (mati).

3.3. Perbandingan Kinerja SBRaerob dengan Beberapa Metoda Pengolahan Lain.

Perbandingan kinerja SBR aerob dengan beberapa metoda pengolahan air buangan PMKS lainnya dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Perbandingan Kinerja SBR Aerob dengan Beberapa Penelitian Pengolahan Limbah PMKS

<u>Penelitian</u>	Efisiensi Penyisihan COD (%)
<i>Sequencing Batch Reactor Aerob</i>	
Reaktor 4:6	61,33%
Reaktor 6:6	86,60%
Reaktor 4:6	59,65%
Reaktor 6:6	67,35%
<i>Multi Soil Layering System^a</i>	69,80%
<i>Anaerobic Fluidized^b</i>	65-85%
<i>Filtration – Ultrafiltration^c</i>	85%
<i>Centrifugation – Ultrafiltration^c</i>	55,80%
<i>Coagulation – Ultrafiltration^c</i>	49,50%
Bioreaktor Berpenyekat Anaerobik ^d	84,60-93,40%

Sumber: a. Salmariza et al, 2004
 b. Mamun, 1997
 c. Wong et al, 2002
 d. Faisal, 2004

Dari Tabel 3.6 di atas terlihat bahwa kinerja SBR aerob dalam menyisihkan senyawa organik pada air buangan PMKS cukup baik. Hal ini terlihat dari efisiensi penyisihan yang didapat cukup tinggi dibandingkan beberapa penelitian lainnya, walaupun tingkat efisiensi penelitian dengan menggunakan SBR aerob masih belum sebesar bioreaktor berpenyekat anaerobik.

4. SIMPULAN DAN SARAN

4.1. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Besarnya efisiensi penyisihan organik yang diperoleh dari hasil penelitian ini menandakan bahwa SBR aerob dapat digunakan dalam pengolahan limbah cair pabrik minyak kelapa sawit.
2. Konsentrasi senyawa organik yang diolah lebih kurang 1350 mg COD/L, dan dapat direduksi dengan efisiensi rata-rata pada rasio waktu reaksi terhadap waktu stabilisasi 4:4 jam/jam sebesar 61,33%; r:s 6:4 jam/jam sebesar 86,60%; r:s 4:6 jam/jam sebesar 59,65%; dan r:s 6:6 jam/jam sebesar 67,35%.
3. Peningkatan waktu reaksi dari 4 jam menjadi 6 jam dapat meningkatkan efisiensi penyisihan senyawa organik dari air buangan PMKS. Hal ini disebabkan karena lebih panjangnya waktu kontak antara mikroorganisma dengan air buangan pada kondisi substrat yang berlebih sehingga proses degradasi senyawa organik dapat berjalan optimal. Selain itu konsentrasi lumpur yang dihasilkan selama akhir fase reaksi pada reaktor 6:4 jam/jam lebih kecil dibanding reaktor lainnya.
4. Secara umum waktu stabilisasi selama 4 jam memberikan hasil yang optimum terhadap kestabilan dari massa lumpur. Hal ini terlihat dari jumlah lumpur pada akhir fase idle dari siklus satu ke siklus lainnya dan dari running satu ke running berikutnya cenderung konstan

4.2. Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut:

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan variasi konsentrasi influen dengan pembebanan yang lebih tinggi. Dan untuk memperbesar efisiensi penyisihan pada beban yang lebih tinggi dapat melakukan perpanjangan waktu reaksi dan waktu stabilisasi sehingga didapat penyisihan optimal dan kultur mikroorganisma yang stabil.
2. Pengukuran parameter-parameter yang diperlukan, terutama parameter lingkungan, sebaiknya dilakukan pada interval waktu yang lebih pendek atau *realtime* dengan tujuan diperolehnya gambaran secara jelas perubahan yang terjadi di dalam reaktor sehingga memudahkan dalam melakukan kontrol dan evaluasi.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Arora, M.L, Barth E.F, Umphres, M.B., 1985. *Technology Evaluation of Sequencing Batch Reactor*. Journal Water Pollution Control Federation. Vol. 57, No. 8.
- Benefield, L.D, and Randall, C.W., 1980. *Biological Process Design for Wastewater Treatment*. USA: Prentice Hall Inc.
- Classen, J. J., F. J. Humenik and J. M. Rice, 2003. *Environmental Technology Verification Report Separation of Manure Solid from Flushed Swine Waste*. Brome Agri Maximizer 1016.
- Cornellius, J.A., 1983. *Processing of Palm Oil Fruit and Its Product*. London Overseas Development Administration: Tropical Product Institute.
- Darmayanti, L., 2002. *Kinetika Pengolahan Air Buangan Rumah Potong Hewan pada Sequencing Batch Reactor Aerob dengan Parameter Rasio Waktu*

- Pengisian terhadap Waktu Reaksi*. Tesis Magister. Bandung: Departemen Teknik Lingkungan ITB.
- Eckenfelder, W. Wesley and Musterman, L Jack., 2000. *Activated sludge Treatment Of Industrial Wastewater*. McGraw-Hill Companies, Inc, Singapore.
- Gallert, Claudia. Winter, Josef., 2005. *Bacterial Metabolism in Wastewater Treatment Systems*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim,
- Grady, P.L., dan Lim, H.C., 1980. *Biological Wastewater Treatment Theory and Applications*. New York : Marcel Dekker Inc.
- Gaudy A. F., Gaudy E. T., 1981. *Microbiology for Environmental Scientist and Engineers*. Japan: McGraw-Hill International Book Company.
- Helard, D., 2002. *Kinetika Pengolahan Air Buangan Rumah Potong Hewan Pada Sistem Sequencing Batch Reactor Aerob dengan Dissolved Air Flotation dan Proses Anaerob Sebagai Pengolahan pendahuluan*. Tesis Magister. Bandung: Departemen Teknik Lingkungan ITB.
- Henze, M., Harremous, P., Jansen, JLC., Erik, A., 1995. *Wastewater Treatment: Biological and Chemical Processes*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Innocentia, L., Bolzonellab D., Pavana P., Cecchib F., 2002. *Effect of Sludge Age on the Performance of a membrane bioreactor: Influence on Nutrient and Metals Removal*. Italy
- Irvine, R.L., Ketchum L.H., 1989. *The Sequencing Batch Reactor and Batch Operation for The Optimal Treatment of Wastewater*. SBR Technologies, Inc.
- Irvine, R.L., Ketchum L.H., 2004. *Sequencing Batch Reactor for Biological Wastewater Treatment*. CRC (*Critical Reviews in Environmental Control*). 18(4) : 255-294.
- Metcalf and Eddy., 1991. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. Singapore: McGraw-Hill Book and Co.
- Thanh, N.C., 1980. *High Organic Wastewater Control and Management in Tropic*. Bangkok : Proc, Water Pollution Control CDG-Alt-ERL.
- Tripathi, C.S. and Allen D.C., 1999. *Comparison of Phosphorous Removal by Aerobic Biological Treatment in SBR Treating Blanched Kraft Pulp Mill Effluent*, Water Research Volume 33 No. 3, 836-846.
- Viridian, 2005. *The SBR Wastewater Treatment Process*. SBR Technologies, Inc.