

PENGARUH STRATEGI OPERASIONAL SEQUENCING BATCH REACTOR (SBR) DENGAN METODE STEP FEED PADA PENYISIHAN NH₃, NO₂, NO₃

Junaidi^{*)}, Wiharyanto Oktiawan^{*)}

ABSTRACT

Sequencing Batch Reactor in biological treatment is a modification of activated sludge process. This metode allows nitrification and denitrification happen sequencely in the same tank. This research is using electronic waste with high nitrogen as 187,34 mg/L nitrate and low carbon as 96,40 mg/L COD which carbon were needed by microorganisme as electron source in denitrification process. To solve the problem without external carbon addition, SBR is operated with step feed strategy along with oxic(aerobic) – anoxic pairs conditions. Two, three and four filling events were applied to the research to know the best efficiency of step feed strategy. The SBR was operated on 3 cycles per day with 8 hour per cycle at average 27^o-28^o. Fill strategy is feed under anoxic conditions. Result shows that, a pair combination of oxic-anoxic (90":90") with two filling events gave efficiency in removal 52,13 % as ammonia, 45,20 % as nitrite and 77,19 % as nitrate. Three filling events with combinations of oxic-anoxic (60":60") gave an efficiency in removal for ammonia 57,47%, nitrite 49,89 % and nitrate 77,30 %. The best result is four filling events with oxic-anoxic conditions combined sequentially in 45 minute, which gave average removal efficiency of ammonia 66.92 %, nitrite 56.85%, and nitrat 83.62% with best effluen of 27,83 mg/L nitrate and 0,25 mg/L ammonia. This research concluded that more feed give better result and using step feed can improve denitrification process in waste with high nitrate and low COD.

Key words: COD, Denitrification, SBR, Step feed

PENDAHULUAN

Penyisihan nitrogen secara biologis dapat dilakukan dalam sebuah tangki SBR jika kondisi operasinya sesuai, yang meliputi anaerobik (anoksik) dan aerobik pada satu siklus tanpa adanya tambahan reaktor terpisah, jalur resirkulasi ataupun *clarifier* (Subramaniam et al., 1994 dan Al-Rekabi et al., 2007). Melalui optimalisasi strategi aerasi dan *mixing*, SBR dapat dengan mudah dioperasikan untuk menyisihkan karbon, nitrogen, phosphor dan senyawa organik lainnya (Irvine and Ketchum, 2004).

Hasil penelitian Vega (2007) pada pengolahan limbah PT. HIT menggunakan Sequencing Batch Reactor, dengan variasi strategi operasional oksik – anoksik menunjukkan hasil yang merata pada penyisihan ammonia dan nitrit yaitu sebesar 90 % – 99 % namun pada penyisihan nitrat menunjukkan efisiensi yang rendah yaitu dengan efisiensi sebesar 40 % – 90 % dengan effluen tertinggi 70,69 mg/L dan terendah 8,23 mg/L. Dalam pengolahan limbah menggunakan SBR, dilakukan pengkondisian oksik-anoksik agar proses

nitrifikasi (aerob) dan denitrifikasi (anosik) dapat terjadi. Untuk dapat menguraikan nitrogen dengan sempurna denitrifikasi membutuhkan sumber karbon (Tchobanoglous et al., 2003), dalam hal ini sumber karbon diperoleh dari COD. Kandungan COD PT. HIT yang rendah yaitu 70 – 100 mg/L menyebabkan proses denitrifikasi tidak berjalan optimal.

Untuk mengoptimalkan penyisihan nitrogen pada limbah dengan kandungan COD rendah dapat dilakukan metode step feed yaitu fill yang dilakukan pada tiap fase anoksik (Vives, 2004). Hal ini juga memungkinkan penyisihan nitrogen maksimal, tanpa melibatkan penambahan external carbon atau interseluler elektron donor yang dapat menambah biaya (Bernades et al., 1996).

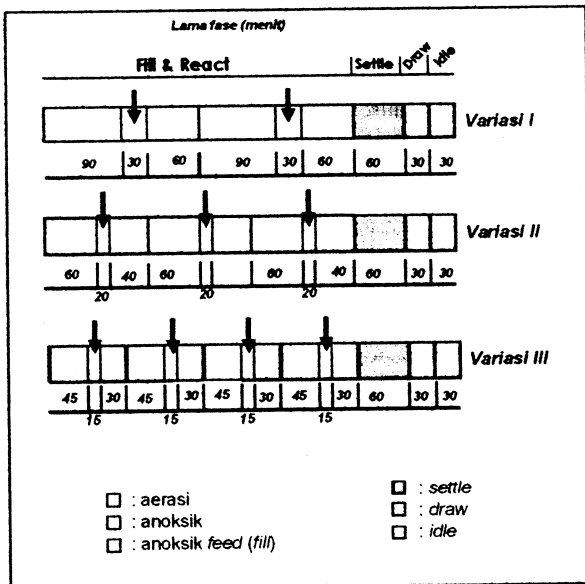
Berdasarkan hasil penelitian Vega (2007), penulis bermaksud melakukan penelitian lanjutan skala eksperimental-laboratoris dengan Sequencing Batch Reactor menggunakan pasangan strategi oksik - anoksik dengan metode step feed untuk mengetahui pengaruhnya terhadap optimalisasi proses denitrifikasi.

METODOLOGI

Penelitian dilakukan dengan menggunakan miniatur reaktor lumpur aktif yang terdiri dari tangki aerasi dan tangki sedimentasi pada skala laboratorium. Limbah yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah asli PT. Hartono Istana Teknologi (HIT).

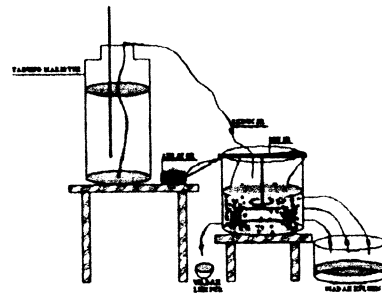
- Variabel bebas : strategi operasional oksik-anoksik dengan *step feed*
- Variabel terikat penelitian ini adalah efisiensi penyisihan NH₃, NO₂⁻, NO₃⁻, dan COD
- Variabel kontrol dalam penelitian adalah
 - DO : (1.5 - 2) mg/L
 - SRT : 7 hari
 - pH : 7.7 - 7.9
 - T : 27 oC
 - MLSS : 2000 - 3500 mg/L

Pasangan strategi yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut:



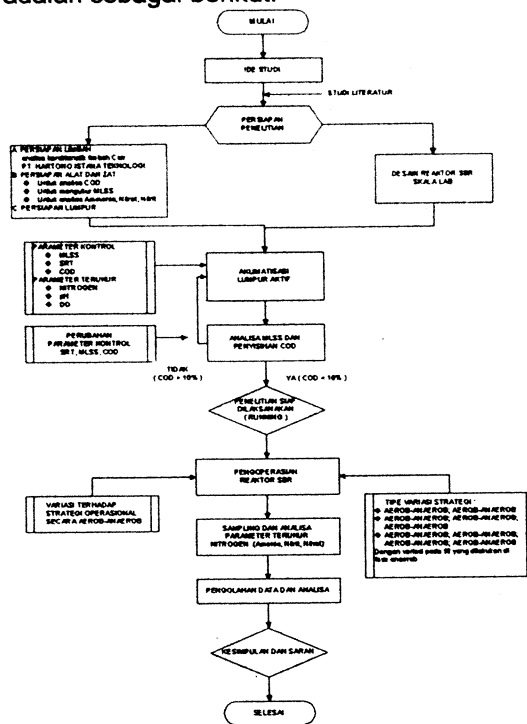
Gambar 1 Pasangan Strategi

Skema alat yang digunakan dalam penelitian



Gambar 2 Skema alat

Untuk tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.



Gambar 3 Tahap Penelitian

Pengoperasian reaktor dalam kondisi aerob dan anaerob. Keseluruhan siklus terdiri dari 5 fase yaitu *fill (step feed)*, *react*, *settle*, *draw*, dan *idle*. Pengisian atau *fill* dilakukan selama total waktu 1 jam dengan debit konstan sebesar 0,054 L/ menit sampai mencapai volume operasi. Pengisian dilakukan pada fase anoksik dan disesuaikan dengan variasi yang digunakan dalam penelitian yaitu 2 x 30 menit untuk strategi operasional aerob-anaerob ; aerob-anaerob (1.30 : 1.30) jam, 3 x 20 menit untuk strategi

operasional , aerob-anaerob ; aerob-anaerob ; aerob-anaerob (1 : 1) jam dan 4 x 15 menit untuk strategi operasional aerob-anaerob ; aerob-anaerob ; aerob-anaerob ; aerob-anaerob (45 : 45) menit.

Sampel diambil pada pipa *mariotte* untuk ammonia, nitrit, nitrat, dan COD influen. Fase fill dan react terjadi berulang selama 6 jam. Pada awal dan akhir *react* diambil sampel MLSS. Fase selanjutnya yaitu *settle* ditetapkan selama 1 jam, kemudian fase *draw* ditetapkan selama 30 menit, pada fase ini dilakukan pengambilan sampel outlet, parameter yang diukur yaitu ammonia, nitrit, nitrat dan COD. Fase *idle* ditetapkan selama 30 menit.

Tabel 1. Karakteristik Limbah Cair PT. Hartono Istana Teknologi-Sayung

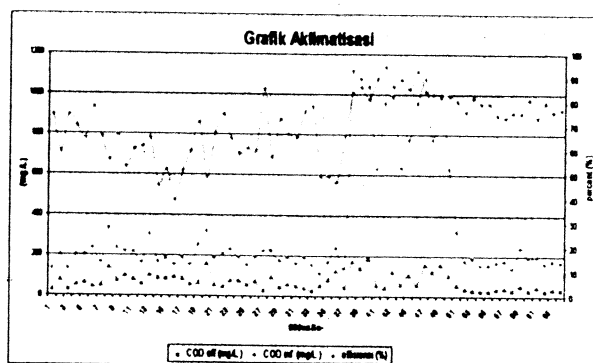
No	Parameter	Satuan	Kualitas Influen	Baku Mutu Limbah Cair (*)	
				Gol I	Gol II
1	Suhu, T	°C	26.7	38	38
2	pH		7.8	6 s/d 9	
3	Phospat	mg/L	1,276		
4	Amonia, NH ₃	mg/L	0.677	1	5
5	Nitrit, NO ₂	mg/L	0.976	1	3
6	Nitrat, NO ₃ ⁻	mg/L	278.15	20	30
7	COD	mg/L	128,0	100	250
8	BOD ₅	mg/L	58.085	50	100

(*) Perda Jateng No.10 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Limbah

Sumber: Hasil Analisa Wahana Laboratorium dan Hasil Penelitian, 2008

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aklimatisasi lumpur bertujuan untuk mengkonidisikan mikroorganisme agar dapat hidup dan beradaptasi dengan limbah yang akan diolah. Dengan demikian, penyisihan senyawa organik yang terkandung dalam limbah dapat berjalan secara optimal

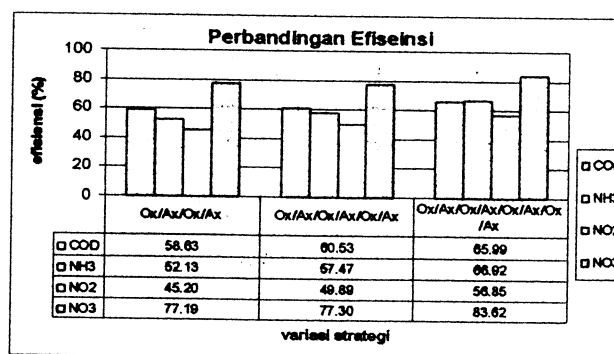


Gambar 4. Grafik Aklimatisasi
Sumber: hasil analisa,2008

Tahap aklimatisasi telah mencapai kondisi stabil, maka dilanjutkan dengan pengoperasian reaktor lumpur aktif untuk kondisi *running*.

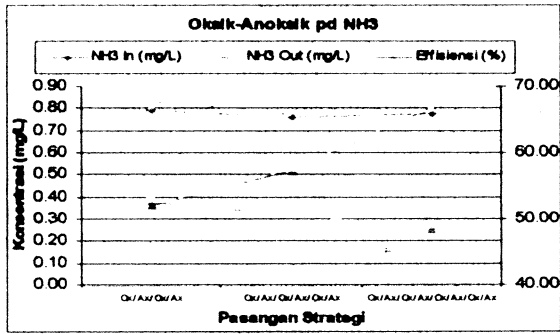
Dalam pengoperasian SBR, terutama yang tujuannya untuk penyisihan nitrogen, dibutuhkan kondisi oksik-anoksik dalam rangka mendukung proses nitrifikasi-denitrifikasi. Kondisi tersebut didapatkan melalui penerapan strategi operasional dengan variasi pasangan strategi operasional (Kargi dan Uygur, 2003; Morgenroth dan Wilderer, 1999).

Adapun hasil penelitian menunjukn hubungan antara variasi strategi oksik – anoksik dengan metode *step feed* dapat dilihat pada grafik sebagai berikut:



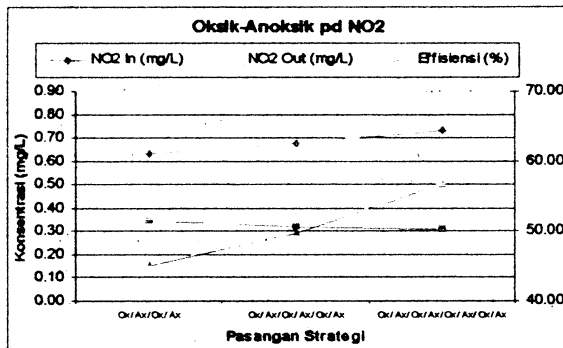
Gambar 5. Perbandingan Hasil Efisiensi
Sumber: Hasil Analisa, 2008

Penyisihan nitrogen secara biologis terjadi melalui mekanisme nitrifikasi-denitrifikasi. Dalam sistem SBR, proses nitrifikasi-denitrifikasi berlangsung dalam satu reaktor secara bergantian. Nitrifikasi-denitrifikasi merupakan kesatuan proses yang tidak dapat dipisahkan satu sama lain. Oleh karenanya, untuk menyisihkan nitrogen secara sempurna, mekanisme nitrifikasi-denitrifikasi haruslah berjalan.



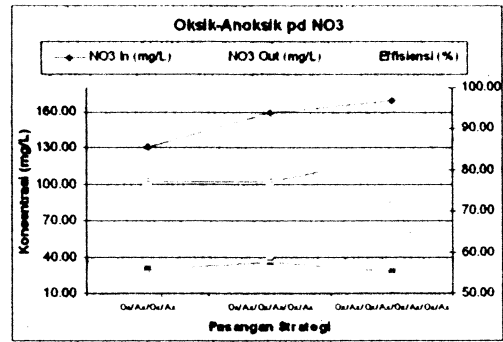
Gambar 6.
Pengaruh Strategi Operasional oksik – anoksik pada NH₃
Sumber: Hasil Analisa, 2008

Penyisihan ammonia paling baik terjadi pada strategi operasional oksik-anoksik; oksik-anoksik; oksik-anoksik; oksik-anoksik ($\frac{3}{4} : \frac{3}{4}, \frac{3}{4} : \frac{3}{4}, \frac{3}{4} : \frac{3}{4}, \frac{3}{4} : \frac{3}{4}$) dengan pengisian tiap 15 menit pada tiap fase anoksik dengan efisiensi penyisihan sebesar 66,92 % sedangkan pada strategi 1 sebesar 52,13 % dan strategi 2 sebesar 57,47%.



Gambar 7.
Pengaruh Strategi Operasional oksik – anoksik pada NO₂
Sumber: Hasil Analisa, 2008

Effisiensi penyisihan nitrit paling baik ditunjukkan pada strategi operasional oksik - anoksik oksik-anoksik; oksik-anoksik; oksik-anoksik; oksik-anoksik ($\frac{3}{4} : \frac{3}{4}, \frac{3}{4} : \frac{3}{4}, \frac{3}{4} : \frac{3}{4}, \frac{3}{4} : \frac{3}{4}$) dengan penyisihan sebesar 56.85 % sementara pada strategi 1 sebesar 45.20 % dan strategi 2 sebesar 49.89%



Gambar 8
Pengaruh Strategi Operasional oksik – anoksik pada NO₃
Sumber: Hasil Analisa, 2008

Effisiensi penyisihan nitrat paling baik juga ditunjukkan oleh grafik yaitu pada strategi operasional oksik - anoksik oksik-anoksik; oksik-anoksik; oksik-anoksik; oksik-anoksik ($\frac{3}{4} : \frac{3}{4}, \frac{3}{4} : \frac{3}{4}, \frac{3}{4} : \frac{3}{4}, \frac{3}{4} : \frac{3}{4}$) yaitu sebesar 83,62 %. Sedangkan pada strategi 1 sebesar 77,19 % dan strategi 2 sebesar 77,30 %.

Sesuai dengan hasil efisiensi dan effluent pada tiap parameter yang diukur maka dapat dilihat bahwa pada variasi I dengan pasangan strategi oksik-anoksik; oksik-anoksik ($1\frac{1}{2} : 1\frac{1}{2}; 1\frac{1}{2} : 1\frac{1}{2}$) menghasilkan efisiensi terendah dan variasi III dengan pasangan strategi oksik - anoksik oksik-anoksik; oksik-anoksik; oksik-anoksik; oksik-anoksik ($\frac{3}{4} : \frac{3}{4}, \frac{3}{4} : \frac{3}{4}, \frac{3}{4} : \frac{3}{4}, \frac{3}{4} : \frac{3}{4}$) menghasilkan efisiensi terbaik dan hasil efisiensi variasi II berada diantaranya. Efisiensi penurunan ammonia sebanding dengan penurunan nitrit dan nitrat. Dapat diambil kesimpulan bahwa makin banyak pengulangan pasangan strategi oksik-anoksik dengan metode *step feed* efisiensi yang didapat makin baik. Hal ini sesuai dengan pernyataan Vives (2004), bahwa semakin banyak kombinasi *oxic-anoxic* penyisihan nitrogen akan semakin sempurna karena memberi kesempatan lebih besar bagi bakteri *nitrifier* untuk mengkonversi amonia atau nitrit dan bakteri heterotrof untuk mengubah nitrat menjadi gas.

Ketika periode aerasi selesai, dimulailah periode *anoxic* yang pertama yang juga merupakan periode *fill* yang pertama. Dilakukan *fill* pada fase anoksik dikarenakan tingginya kandungan nitrat sehingga dinilai lebih dibutuhkan karbon pada fase denitrifikasi dibandingkan fase nitrifikasi. Kemungkinan masih terdapat amonia, nitrit dan nitrat pada akhir periode *oxic-anoxic* yang pertama. Dibutuhkan periode *oxic-*

anoxic lanjutan agar nitrifikasi-denitrifikasi berlangsung sempurna. Selama periode *anoxic* lanjutan, dalam hal ini bakteri *heterotroph* secara lambat menguraikan COD sebagai sumber karbon dan energi, karena kekurangan unsur-unsur biologi yang tersedia dalam COD terlarut (Whichard, 2001). Proses reaksi biologi yang sudah mulai berlangsung saat periode *oxic-anoxic* yang pertama akan berlangsung sempurna pada periode lanjutan sampai proses biodegradasi karbon dan nitrogen tercapai.

Hasil penelitian ini sesuai ini sesuai dengan penelitian Vives (2004) yang menunjukkan bahwa variasi *step feed* pada limbah dengan kadar COD rendah, dengan rasio volume yang sama, maka makin banyak pengisian akan menghasilkan effluent nitrogen yang lebih baik. Begitu pula dengan penelitian Kargi dan Uygur (2003) yang menyatakan bahwa semakin banyak pasangan strategi operasional oksik-anoksik, penyisihan nitrogen akan semakin baik pada kondisi yang optimal. Namun hasil penelitian ini tidak sesuai dengan hasil Vega (2007) yang menyatakan penyisihan nitrit dan nitrat paling optimal pada limbah PT. HIT dengan menggunakan SBR berhenti pada pasangan strategi oksik-anoksik; oksik-anoksik; dan oksik-anoksik (1 : 1). Jika melihat dari effluent yang dihasilkan dan efisiensi yang terjadi, penelitian ini tidak lebih baik karena efisiensi yang dihasilkan pada pasangan yang terbaik hanya 83 % sedangkan pada penelitian Vega (2007) mencapai 95 %. Faktor-faktor seperti pH, temperatur dan DO rata-rata sama, maka kondisi lingkungan tidak menjadi masalah dalam penelitian ini. Perbedaan yang ada dikarenakan limbah yang digunakan limbah asli sehingga kondisinya berfluktuatif, kondisi limbah ketika dipakai oleh penulis memiliki kadar COD, ammonia, dan nitrit yang lebih rendah namun memiliki kandungan nitrat yang lebih tinggi dari limbah pada penelitian Vega (2007).

Dalam denitrifikasi secara biologi, tujuan utama adalah untuk menyisihkan nitrat secara biologis. Parameter utama untuk proses denitrifikasi adalah kandungan COD atau BOD untuk menyediakan elektron donor yang cukup untuk penyisihan nitrat. Cukup atau tidaknya jumlah zat organik dalam limbah cair yang diolah pada proses, dapat diketahui dengan membandingkan kebutuhan zat organik secara teoritis dengan jumlah zat organik yang tersedia dalam limbah cair. Jumlah zat organik *biodegradable* pada air limbah sama dengan

konsentrasi COD inlet. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Kebutuhan Karbon per influent nitrat

Strategi Operasional Oksik-anoksik	NO ₃ inlet (mg/L)	Kebutuhan Teoritis	COD Limbah (mg/L)	Feed Period / Cycle	Ketersediaan Zat Organik dengan <i>step feed</i>
(1,5 : 1,5)	129.04	387.12	96	2	192
(1,5 : 1,5)	144.66	433.98	82.1	2	164.2
(1,5 : 1,5)	121.08	363.24	102	2	204
(1 : 1)	132.09	396.27	86.4	3	259.2
(1 : 1)	178.32	534.96	98.09	3	294.27
(1 : 1)	167.89	503.67	96	3	288
(0,75 : 0,75)	187.34	562.02	86.4	4	345.6
(0,75 : 0,75)	163.46	490.38	86.4	4	345.6
(0,75 : 0,75)	159.08	477.24	83.09	4	332.36

Sumber : Hasil Analisa, 2008

Dari hasil perhitungan secara stoikiometri, dapat terlihat bahwa zat organik yang terkandung dalam air limbah tidak mencukupi kebutuhan untuk sintesis bakteri denitrifier sehingga proses denitrifikasi yang terjadi kurang optimal. Namun dengan menggunakan *step-feed*, membantu mengoptimalkan proses denitrifikasi yang terjadi. Hal ini dikarenakan kondisi air limbah yang rendah COD untuk sintesis bakteri (proses denitrifikasi) diisikan beberapa kali sehingga mendekati kebutuhan zat organik (dalam hal ini untuk menjadi elektron akseptor) untuk denitrifikasi. Pada variasi dengan menggunakan 4 kali *filling period*, adalah yang paling mendekati dengan keterbutuhan zat organik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa hasil penelitian mengenai pengaruh konsentrasi COD terhadap penyisihan ammonia, nitrit, nitrat, pada limbah cair PT. HIT, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi strategi operasional SBR dengan pengisian pada fase anoksik memiliki pengaruh terhadap penyisihan nitrogen pada air limbah. Semakin banyak pengulangan strategi oksik - anoksik dan semakin banyak fase pengisian pada tahap anoksik maka semakin tinggi

pula efisiensi penyisihan yang terjadi pada Ammonia, nitrit, nitrat, COD.

2. Variasi strategi operasional ($\frac{1}{4} : \frac{1}{4}$, $\frac{1}{4} : \frac{1}{4}$, $\frac{1}{4} : \frac{1}{4}$, $\frac{1}{4} : \frac{1}{4}$) jam dengan variasi pengisian (fill) tiap fase anoksik (15:30, 15:30, 15:30, 15:30) pada sistem SBR merupakan strategi yang paling optimal untuk menyisihkan NH_3 , NO_2^- , NO_3^- dan COD. Rata-rata amonia tersisih 66.92 %, nitrit tersisih 56.85 %, nitrat tersisih 83.62 %, dan COD tersisih 64.68 %.

SARAN

Saran yang dapat diberikan penulis sebagai usulan perbaikan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Pencampuran limbah sebelum penelitian (ekualisasi) dilakukan sesuai dengan kebutuhan penelitian, sehingga didapatkan konsentrasi influen yang seragam.
2. Dilakukan penelitian lebih lanjut dengan pasangan strategi oksik-anoksik *step feed* dengan *filling period* lebih banyak

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Rekabi, Wisaam S., Qiang, He, dan Qiang, Wei Wu, 2007, *Review on Sequencing Batch Reactors*, Pakistan Journal of Nutrition, Vol. 6 (1) p. 11-19, Pakistan
- Bernades, R.S., Klapwijk, A., Spanjers, H. 1996. *SBR Technology for Wastewater Treatment: Suitable Operational*. Ph.D Thesis dari Universitas de Girona Spanyol. www.tdx.cesca.es/tesis_UdG
- Benfield, L. D., Clifford, W. Randall. 1980. *Biological Process Design for Wastewater Treatment*. Prentice – Hall, Inc. USA
- Kargi, F, dan Uygur, A, 2003, *Biological Nutrient Removal in Sequencing Batch Reactor with Different Number of Steps*, J. Clean Tech Environ Policy, Vol. 6 p. 61-65, Pakistan
- Tchobanoglous, Goerge, L. Burton, Franlin, Stense, H. David. 2003. *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse*, Fourth Edition, McGraw – Hill Book Co. Amerika
- Third, K.A, Gibbs, B., Newland, M., and Cord-Ruwishch, R. 2005. *Long-term Aeration Management for Improved N-removal via SND in Sequencing*

Batch Reactor. Elvesier Ltd. Australia

Vives., M. T, 2004, *SBR Technology: Suitable Operational Condition for a Nutrient Removal*, Ph.D Thesis dari Universitat de Girona, Spanyol. www.girona.com/

Vega, Y .2008. *Pilot Plant Pengolahan Limbah Cair menggunakan SBR pada penyisihan Nitrogen*. (Studi Kasus PT. Hartono Istana Teknologi, Tbk Sayung Demak).

Whichard, D. P. 2001. *Nitrogen Removal from Dairy Manure Wastewater Using Sequencing Batch Reactors*. M.Eng Thesis dari Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg. VA. USA