



Pengolahan Lindi TPA Muara Fajar Pekanbaru Menggunakan *Sequencing Batch Reactor* Aerob dengan Variasi Teknik Stabilisasi (IDLE)

Treatment of Leachate from Muara Fajar Landfill, Pekanbaru, Using an Aerobic Sequencing Batch Reactor with Variations in IDLE Stabilization Techniques

Ferdy Ashari Syawal^{*1}, Shafira Dinil Fitri¹, Lita Darmayanti¹, David Andrio¹, Munir Tanjung², Fadhila Fadhila²

¹ Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Riau, 28293, Pekanbaru

² Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Sumatera Utara, 20155, Medan

*Email: litadarmayanti@eng.unri.ac.id

Article history:

Diterima : 5 November 2025
Direvisi : 23 Januari 2026
Disetujui : 9 Februari 2026
Mulai online : 27 Maret 2026

E-ISSN: 2337-4888

How to cite:

Ferdy Ashari Syawal, Shafira Dinil Fitri, Lita Darmayanti, David Andrio, Munir Tanjung, Fadhila Fadhila. (2026). Pengolahan Lindi TPA Muara Fajar Pekanbaru Menggunakan *Sequencing Batch Reactor* Aerob dengan Variasi Teknik Stabilisasi (IDLE). Jurnal Teknik Kimia USU, 15(1), 30-39.

ABSTRAK

Lindi merupakan cairan hasil dekomposisi timbunan sampah yang mengandung bahan organik, amonia, logam berat, dan padatan tersuspensi dalam konsentrasi tinggi. Pembuangan lindi tanpa pengolahan dapat mencemari tanah dan air di sekitar Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi teknik stabilisasi (*idle*) terhadap efisiensi penyisihan COD, amonia, dan TSS pada pengolahan lindi menggunakan *Sequencing Batch Reactor* (SBR) aerob. Penelitian dilakukan dengan tiga variasi teknik *idle*, yaitu *static idle*, *mixed idle*, dan *aerated idle*. Reaktor SBR dioperasikan dengan waktu *fill* 1 jam, *react* 18 jam, *settle* 2 jam, *draw* 1 jam, dan *idle* 2 jam selama empat siklus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi *aerated idle* memberikan efisiensi penyisihan tertinggi terhadap COD sebesar 86,67%, amonia 95,36%, dan TSS 93,97%. Variasi *aerated idle* juga menghasilkan kondisi biologis yang lebih stabil dengan suplai oksigen optimal bagi mikroorganisme.

Kata kunci: lindi, *sequencing batch reactor*, aerob, teknik *idle*, TPA Muara Fajar

ABSTRACT

Leachate is a liquid generated from waste decomposition containing organic matter, ammonia, heavy metals, and suspended solids in high concentrations. Improper leachate disposal can pollute soil and water around the landfill. This study aims to determine the effect of different *idle* stabilization techniques on COD, ammonia, and TSS removal efficiency using an aerobic *Sequencing Batch Reactor* (SBR). Three *idle* variations were tested: *static idle*, *mixed idle*, and *aerated idle*. The SBR reactor



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International.
<https://doi.org/10.32734/jtk.v15i1.23407>

was operated with fill (1 h), react (18 h), settle (2 h), draw (1 h), and idle (2 h) phases for four cycles. The results showed that the aerated idle variation achieved the highest removal efficiencies: COD 86.67%, ammonia 95.36%, and TSS 93.97%. Aerated idle provided better sludge stability and optimal oxygen conditions for microbial activity.

Keywords: leachate, sequencing batch reactor, aerobic, idle technique, Muara Fajar landfill

1. Pendahuluan

Sampah adalah bahan yang dihasilkan oleh kegiatan manusia yang tidak lagi dianggap berguna [1]. Peningkatan jumlah penduduk, urbanisasi, serta perubahan pola konsumsi masyarakat menyebabkan volume sampah yang dihasilkan terus meningkat dari waktu ke waktu. Kondisi tersebut menjadi tantangan serius dalam pengelolaan lingkungan, terutama di kawasan perkotaan, karena peningkatan timbunan sampah berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan masyarakat, estetika lingkungan, serta pencemaran tanah, air, dan udara.

Umumnya, sampah yang dihasilkan masyarakat dikumpulkan dan dibuang ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sebagai lokasi pembuangan terakhir. TPA Muara Fajar merupakan satu-satunya tempat pemrosesan sampah akhir di Kota Pekanbaru yang menampung seluruh timbunan sampah dari wilayah kota dan sekitarnya. Berdasarkan perencanaannya, TPA Muara Fajar seharusnya menerapkan sistem *sanitary landfill*. Namun, dalam praktik operasional di lapangan, sistem yang diterapkan masih berupa *open dumping*, di mana sampah dibuang dan ditumpuk secara terbuka tanpa adanya perlakuan atau pengelolaan khusus. Lindi adalah air limbah kompleks yang mengandung polutan organik, amonia, logam berat, dan senyawa organik xenobiotik, yang menyebabkan pencemaran lingkungan yang serius [2]. Komposisi lindi bergantung pada jenis sampah yang dibuang di TPA [3].

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengolah lindi dengan kandungan bahan organik dan nitrogen tinggi adalah proses lumpur aktif. Teknologi ini memanfaatkan aktivitas mikroorganisme dalam mendegradasi senyawa organik menjadi bahan yang lebih sederhana dan tidak berbahaya. Proses ini menghasilkan flok mikroba yang mudah diendapkan dan dapat diolah kembali [4]. Salah satu pengembangan dari sistem lumpur aktif adalah *Sequencing Batch Reactor* (SBR). SBR adalah teknologi air limbah secara biologis yang dilakukan secara bertahap dalam satu reaktor dengan pola pengisian dan pembuangan bergantian [5]. Proses SBR menggabungkan seluruh tahapan pengolahan ke dalam satu unit reaktor, yaitu fase *fill* (pengisian), *react* (reaksi), *settle* (pengendapan), *draw* (pengurasan), dan *idle* (stabilisasi) [6], sehingga teknologi SBR memiliki keunggulan berupa efisiensi lahan, kemudahan pengoperasian, dan fleksibilitas waktu operasi. Selain itu, sistem ini mampu menyisahkan bahan organik dan nitrogen secara simultan melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi [7], [8].

SBR menunjukkan potensi yang signifikan untuk mengolah lindi TPA, sebagaimana didukung oleh studi-studi terkini. Studi lain menunjukkan pencapaian efisiensi penyisihan COD sebesar 88% dan padatan tersuspensi sebesar 84% dalam pengolahan lindi, meski kinerja penyisihan nitrogennya belum optimal [6]. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa SBR efektif digunakan untuk berbagai jenis limbah cair. Pengolahan air limbah tahu menggunakan SBR aerob dengan penambahan *paddle mixer* dilaporkan mampu menurunkan nilai COD hingga 98,8% [9]. Proses SBR aerob dipilih dalam penelitian ini karena sesuai dengan karakteristik lindi TPA Muara Fajar yang memiliki konsentrasi COD sekitar 2000-5000 mg/L [11]. Selain itu, proses aerob memiliki kelebihan berupa waktu detensi yang singkat, tidak menimbulkan bau, dan menghasilkan efluen dengan kualitas baik [12].

Salah satu fase penting dalam sistem SBR adalah fase stabilisasi atau *idle*. Fase ini berfungsi untuk menyiapkan mikroorganisme sebelum siklus berikutnya dengan cara menciptakan kondisi pelaparan (*starvation*) akibat tidak adanya suplai nutrisi [6]. Kondisi ini mendorong

mikroorganisme menjadi lebih aktif dalam siklus reaksi berikutnya, sehingga memengaruhi stabilitas lumpur dan efisiensi proses. Proses *idle* dapat dilakukan dengan tiga teknik berbeda, yaitu *static idle* (tanpa aerasi atau pengadukan), *mixed idle* (dengan pengadukan), dan *aerated idle* (dengan aerasi) [13]. Variasi kondisi ini akan memengaruhi aktivitas mikroorganisme serta kinerja penguraian bahan pencemar.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh variasi teknik *idle* terhadap efisiensi penyisihan parameter kimia dan fisika utama, yaitu COD, amonia, dan TSS, dalam pengolahan lindi TPA Muara Fajar menggunakan reaktor SBR aerob. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai teknik *idle* paling efektif dalam meningkatkan efisiensi sistem SBR, serta menjadi dasar bagi penerapan teknologi biologis yang efisien, hemat lahan, dan ramah lingkungan pada pengolahan lindi di Indonesia.

2. Metode

Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi SBR dengan sistem *batch* yang berfungsi untuk proses aklimatisasi serta percobaan utama. Reaktor dibuat dari bahan akrilik dengan kapasitas 7 liter dan berbentuk silinder berdiameter 15 cm serta tinggi 40 cm. Perangkat ini dilengkapi dengan komponen pendukung seperti *paddle mixer*, motor pengaduk, keran reaktor, jerigen, timbangan analitik, DO meter, pompa peristaltik, pH meter, serta peralatan laboratorium untuk analisis parameter COD, TSS, dan VSS.

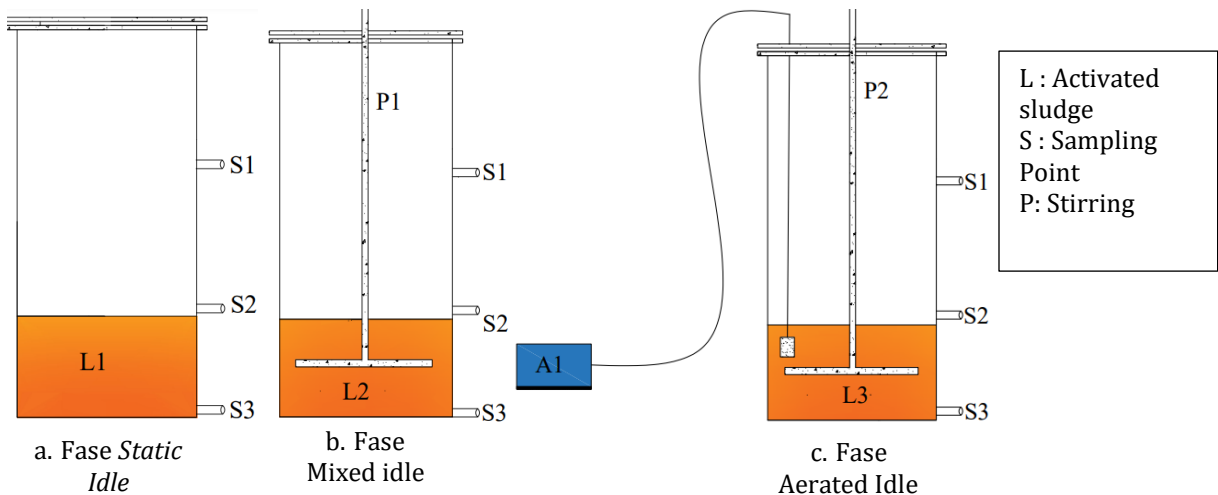
Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi lindi yang diambil dari TPA Muara Fajar, Kecamatan Rumbai, Kota Pekanbaru. Inokulum yang digunakan berupa kultur campuran yang diperoleh dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) PT Indofood Tbk, Pekanbaru. Selain itu, digunakan pula glukosa ($C_6H_{12}O_6$), akuades, serta berbagai bahan kimia untuk analisis COD, seperti kalium dikromat, pereaksi asam, indikator feroin, dan larutan FAS.

Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan variasi teknik *idle* sebagai variabel bebas, meliputi:

1. *Static idle* — tanpa pengadukan dan aerasi.
2. *Mixed idle* — dengan pengadukan menggunakan *paddle mixer* berdiameter 10 cm (66% dari diameter reaktor) dan panjang batang 20 cm (30% dari volume kerja reaktor).
3. *Aerated idle* — dengan pengadukan dan aerasi secara simultan.



Gambar 1. Teknik *idle*

Variabel tetap meliputi waktu retensi hidrolik (24 jam) [8], waktu pengisian (1 jam) [14], waktu reaksi (18 jam) [8], waktu pengendapan (2 jam) [14], waktu pengurasan (1 jam) [14], dan waktu *idle* (2 jam) [14]. Kecepatan pengadukan dijaga pada 150 rpm, debit aerasi 3,5 L/menit, pH 6,5–8,5, dan konsentrasi DO di atas 2 mg/L. Variabel terikat yang diamati meliputi konsentrasi COD, amonia, TSS, dan VSS pada setiap variasi teknik *idle*.

Analisis dan Pengolahan Data

Analisis laboratorium dilakukan untuk mengukur parameter COD, TSS, VSS, amonia, pH, DO, dan suhu. Metode pengujian mengacu pada *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* [15], seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Metode analisis parameter

No	Parameter	Metode Analisis
1	COD	SM 5520 C
2	TSS	SM 2540 E
3	VSS	SM 2540 E
4	pH	pH meter
5	DO	DO meter

Efisiensi penyisihan setiap parameter dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Efisiensi}(\%) = \frac{C_{in}-C_{ef}}{C_{in}} \times 100\% \tag{1}$$

dengan C_{in} adalah konsentrasi influen (mg/L) dan C_{ef} adalah konsentrasi efluen (mg/L).

Data hasil pengukuran selanjutnya dianalisis secara deskriptif untuk menentukan pengaruh variasi teknik *idle* terhadap efisiensi penyisihan COD, TSS, VSS, dan amonia pada sistem SBR.

3. Hasil dan Pembahasan
Karakteristik Awal Lindi

Hasil uji karakteristik awal ditunjukkan pada Tabel 2. Hasil karakterisasi awal lindi menunjukkan konsentrasi COD, TSS, dan amonia yang sangat tinggi di atas baku mutu, yang mengindikasikan beban pencemar organik yang besar. Temuan ini konsisten dengan komposisi sampah di Indonesia, di mana lebih dari 50% fraksi sampah didominasi oleh bahan organik [16]–[19]

Tabel 2. Hasil uji karakteristik awal lindi

Parameter	Hasil Uji	Satuan	Baku Mutu*
COD	3.360	mg/L	300
TSS	1.690	mg/L	100
Amonia	13,79	mg/L	10**
pH	7,3	-	6–9

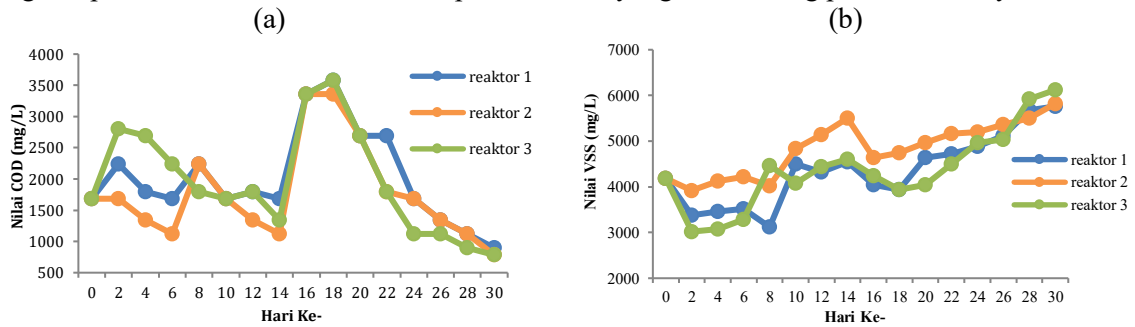
Sumber: *PermenLHK No. 59 Tahun 2016; **PermenLHK No. 68 Tahun 2016

Tahap Seeding dan Aklimatisasi

Proses *seeding* dilakukan untuk memperbanyak populasi mikroorganisme menggunakan lumpur aktif dari IPAL PT Indofood Tbk Pekanbaru. Setelah 30 hari aerasi, nilai VSS mencapai >3.000 mg/L yang menandakan lumpur aktif siap digunakan.

Tahap aklimatisasi dilakukan selama 30 hari secara bertahap, dimulai dengan campuran 50% lindi dan 50% akuades hingga mencapai 100% lindi pada hari ke-16. Tujuan proses ini adalah untuk

mencegah *shock loading* dan memastikan mikroorganisme dapat beradaptasi terhadap beban organik tinggi. Analisis COD dan VSS terhadap aklimatisasi diberikan pada Gambar 2. Gambar 2 menunjukkan aklimatisasi pada hari ke-26 sampai dengan hari ke-30 menghasilkan penurunan COD yang stabil (<10% fluktuasi), menandakan adaptasi mikroorganisme terhadap beban organik tinggi telah berhasil. Gambar 3 menunjukkan bahwa pada hari ke-20, peningkatan konsentrasi VSS menunjukkan bahwa mikroorganisme telah memasuki fase logaritma atau eksponensial, dimana pada fase ini mikroorganisme yang telah berhasil beradaptasi akan mengalami pertumbuhan yang sangat cepat karena ketersediaan nutrisi pada substrat yang mendukung pertumbuhannya.

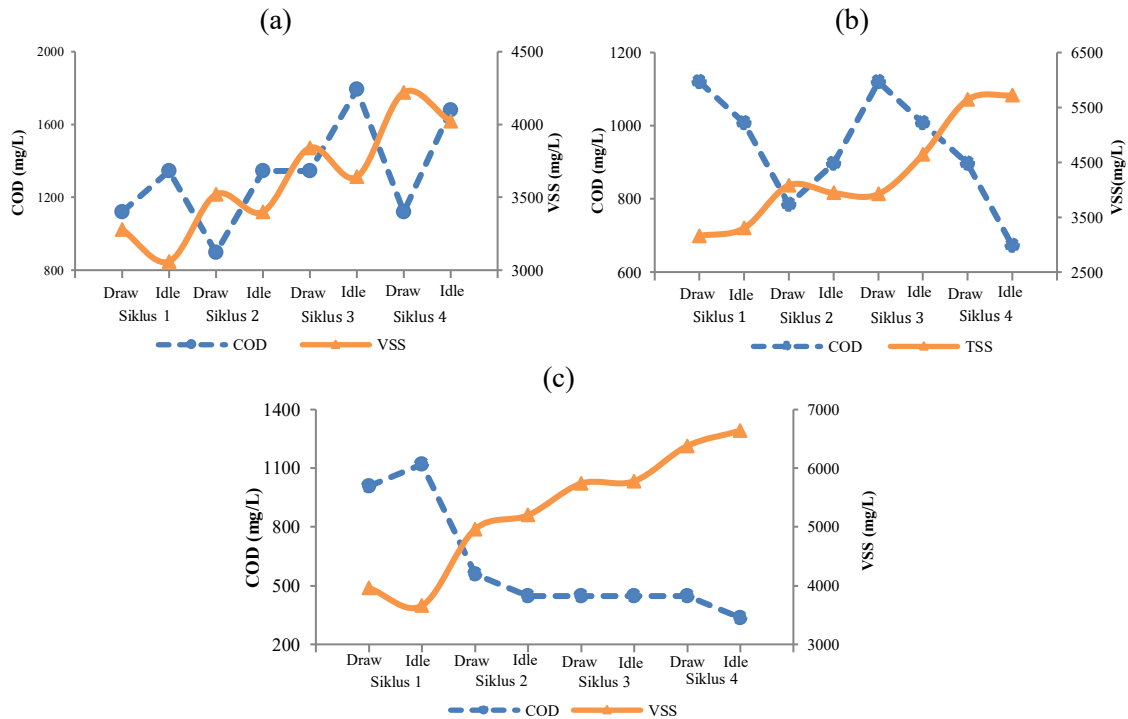


Gambar 2. Nilai COD dan VSS pada tahap aklimatisasi (a) nilai COD pada tahap aklimatisasi (b) nilai VSS pada tahap aklimatisasi

Penurunan COD seiring kenaikan VSS menunjukkan aktivitas mikroorganisme yang efektif dalam degradasi bahan organik [13]. Nilai DO, pH, dan suhu selama aklimatisasi masing-masing berada pada rentang 2,4–4,2 mg/L, 7,29–8,47, dan 25,8–27,9° C.

Pengaruh Variasi Teknik *Idle* terhadap Penyisihan COD

Variasi teknik *idle* yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik *static idle*, *mixed idle*, dan *aerated idle*. Pengaruh variasi teknik *static idle*, *mixed idle*, dan *aerated idle* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Hubungan TSS dan VSS pada reaktor (a) reaktor teknik *static idle* (b) reaktor teknik *mixed idle* (c) reaktor teknik *aerated idle*

Gambar 3(a) menunjukkan hubungan antara konsentrasi COD dan VSS pada reaktor teknik *static idle*. Berdasarkan Gambar 3(a), terjadi kenaikan konsentrasi COD dari fase *draw* ke fase *idle* di setiap siklusnya. Kenaikan nilai COD saat fase *idle* ini disebabkan terjadinya penurunan konsentrasi VSS di fase *idle*. Penurunan nilai VSS fase *idle* ini dikarenakan terjadinya proses pelaparan dikarenakan tidak adanya substrat yang masuk ke dalam reaktor dan kurangnya oksigen terlarut dikarenakan tidak adanya injeksi oksigen oleh aerator. Kekurangan oksigen menyebabkan terjadinya kematian pada mikroorganisme aerob yang menyebabkan terjadinya penurunan nilai VSS pada akhir fase *idle*. Kematian mikroorganisme pada pengolahan menyebabkan kenaikan nilai COD pada reaktor [20].

Gambar 3(b) menunjukkan hubungan antara konsentrasi COD dan VSS pada reaktor teknik *mixed idle*. Berdasarkan Gambar 3(b), pada teknik *mixed idle* terjadi penurunan konsentrasi COD dari fase *draw* ke fase *idle* di setiap siklusnya. Penurunan konsentrasi COD di fase *idle* ini dikarenakan terjadinya kenaikan konsentrasi VSS pada fase *idle*. Kenaikan nilai VSS ini dikarenakan pada fase *idle* terjadi kontak antara mikroorganisme dengan sisa limbah pada reaktor dengan adanya pengadukan yang menyebabkan mikroorganisme dapat tumbuh dengan memakan sisa zat organik pada limbah saat terjadinya kontak, yang menyebabkan terjadinya kenaikan nilai VSS pada akhir fase *idle*. Kenaikan nilai VSS pada akhir fase *idle* ini menyebabkan laju penurunan COD semakin meningkat setiap siklusnya [21].

Gambar 3(c) menunjukkan hubungan antara konsentrasi COD dan VSS pada reaktor teknik *Aerated Idle*. Berdasarkan Gambar 3(c), teknik *aerated idle* menunjukkan konsentrasi COD dari fase *draw* ke fase *idle* di setiap siklusnya. Penurunan konsentrasi COD pada fase *idle* ini disebabkan oleh kenaikan konsentrasi VSS pada fase *idle*. Hal ini mengindikasikan bahwa terjadi penambahan nilai VSS pada reaktor teknik *aerated idle* dikarenakan adanya aerasi dan pengadukan saat fase *idle* (istirahat). Penggunaan aerasi dapat meningkatkan kadar oksigen yang terlarut di dalam limbah dan digunakan oleh mikroorganisme untuk berkembangbiak dan meningkatkan aktivitas untuk mendegradasi bahan anorganik dan organik dalam limbah cair [22].

Analisis Pengaruh Teknik *Idle* Terhadap Penyisihan COD

Efisiensi penyisihan konsentrasi COD dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan Tabel 3, diperoleh efisiensi penyisihan COD tertinggi pada reaktor teknik *aerated idle* siklus ke-4 sebesar 87,67%. Hal ini membuktikan bahwa variasi teknik *idle* dalam SBR dapat memengaruhi kinerja mikroorganisme dalam menurunkan konsentrasi COD. Hal ini sesuai dengan penelitian [23], penurunan nilai COD pada limbah yang diolah dengan teknik *aerated idle* berkaitan dengan peningkatan nilai DO pada reaktor pengolahan limbah akibat pemberian oksigen pada limbah saat fase *idle* (istirahat).

Tabel 3. Efisiensi penyisihan COD (%)

Siklus	Efisiensi (%)		
	<i>Static idle</i>	<i>Mixed Idle</i>	<i>Aerated Idle</i>
Siklus 1	66,67	66,67	70,00
Siklus 2	73,33	66,67	83,33
Siklus 3	60,00	76,67	86,67
Siklus 4	66,67	73,33	86,67

Pengaruh Variasi Teknik *Idle* terhadap Penyisihan Amonia

Efisiensi penyisihan konsentrasi amonia dapat dilihat pada Tabel 4. Berdasarkan Tabel 4, diperoleh efisiensi penyisihan amonia tertinggi yaitu pada reaktor teknik *aerated idle* siklus ke-4 sebesar 95,36%. Hal ini membuktikan bahwa variasi teknik *idle* dalam SBR dapat memengaruhi kinerja mikroorganismenya dalam menurunkan konsentrasi amonia dikarenakan aerasi dan pengadukan saat *idle* mampu membantu pertumbuhan mikroorganismenya sehingga menyebabkan kepadatan lumpur yang tinggi. Kepadatan lumpur yang tinggi dapat mengurangi rongga udara dalam lumpur, sehingga kondisi anoksik dapat tercapai. Selain itu, pengaruh aerasi pada reaktor teknik *aerated idle* mampu membantu mikroorganismenya dalam mengatasi akumulasi limbah lebih baik [8].

Tabel 4. Efisiensi penyisihan amonia (%)

Siklus	Efisiensi (%)		
	<i>Static idle</i>	<i>Mixed Idle</i>	<i>Aerated Idle</i>
Siklus 1	88,7	89,2	93,4
Siklus 2	89,5	82,1	94,4
Siklus 3	93,7	90,8	95,2
Siklus 4	91,9	90,9	95,4

Pengaruh Variasi Teknik *Idle* terhadap Penyisihan TSS

Efisiensi penyisihan konsentrasi amonia dapat dilihat pada Tabel 5. Berdasarkan Tabel 5, diperoleh penyisihan TSS terbaik yaitu pada reaktor teknik *aerated idle* siklus ke-4 sebesar 93,96%. Hal ini membuktikan bahwa variasi teknik *idle* dalam SBR dapat memengaruhi kinerja mikroorganismenya dalam menurunkan konsentrasi TSS. Tingginya penurunan pada reaktor *aerated idle* dikarenakan konsentrasi mikroorganismenya terdegradasi bahan pencemar organik yang besar sehingga memecah senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Senyawa sederhana digunakan untuk metabolisme bakteri sehingga dihasilkan energi, CO₂, H₂O, dan sisa metabolisme yang berupa lumpur yang mudah mengendap [9].

Tabel 5. Efisiensi penyisihan TSS

Siklus	Efisiensi (%)		
	<i>Static idle</i>	<i>Mixed Idle</i>	<i>Aerated Idle</i>
Siklus 1	54,31	56,90	58,62
Siklus 2	62,93	77,58	88,79
Siklus 3	65,52	80,17	90,52
Siklus 4	69,83	82,76	93,96

Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya dan Baku Mutu

Perbandingan efisiensi penyisihan parameter COD, amonia dan TSS penelitian ini dengan penelitian lain dapat dilihat pada Tabel 6. Berdasarkan Tabel 6, efisiensi penyisihan COD penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian [21] dan lebih rendah dibandingkan dengan penelitian [25] dan [26]. Efisiensi penyisihan amonia penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian [27] dan lebih rendah dibandingkan dengan penelitian [21]. Efisiensi penyisihan TSS penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian [25] dan lebih rendah dibandingkan dengan [26]. Perbedaan efisiensi penyisihan pada ketiga parameter tersebut dapat disebabkan oleh perbedaan konsentrasi parameter awal yang memengaruhi kinerja dan efisiensi penyisihan parameter dikarenakan besarnya beban organik awal yang memengaruhi kinerja SBR. Hasil ini

menunjukkan bahwa sistem SBR dengan teknik *aerated idle* efektif diterapkan untuk pengolahan lindi, meskipun nilai COD akhir (480 mg/L) masih di atas baku mutu. Parameter TSS (70 mg/L), amonia (0,64 mg/L), dan pH (8,52) telah memenuhi ketentuan PermenLHK No. 59 Tahun 2016.

Tabel 6. Perbandingan efisiensi dengan penelitian sebelumnya

Limbah	Teknik Idle	Efisiensi COD (%)	Efisiensi Amonia (%)	Efisiensi TSS (%)	Referensi
Rumah makan	<i>Aerated Idle</i>	93,35	89,20	–	[26]
Tahu	<i>Aerated Idle</i>	92,86	–	–	[25]
Rumah sakit	<i>Aerated Idle</i>	81,00	97,00	–	[21]
Rumah makan	<i>Aerated Idle</i>	–	–	82,00	[26]
Rumah makan	<i>Aerated idle</i>	–	–	98,94	[26]
Lindi (Penelitian ini)	<i>Aerated Idle</i>	86,67	95,36	93,96	Penelitian ini

4. Kesimpulan

Kinerja sistem SBR sangat dipengaruhi oleh kondisi *idle*. Aerasi dan pengadukan pada fase *idle* terbukti mampu mempertahankan populasi mikroorganisme, meningkatkan aktivitas degradasi, serta menjaga kondisi reaktor tetap aerobik. Oleh karena itu, teknik *aerated idle* direkomendasikan untuk pengolahan lindi dengan beban organik tinggi seperti di TPA Muara Fajar. Meskipun sebagian besar parameter telah memenuhi baku mutu, diperlukan pengolahan lanjutan seperti filtrasi atau proses *advanced oxidation* untuk menurunkan COD hingga di bawah ambang batas.

Disarankan untuk meningkatkan durasi fase reaksi (*react*) guna memperpanjang waktu kontak antara lindi dan lumpur aktif sehingga efisiensi penyisihan COD dapat meningkat. Pengaturan durasi fase operasi, terutama *react* dan *idle*, juga perlu dioptimalkan untuk menjaga stabilitas proses biologis. Selain itu, sistem SBR berpotensi diintegrasikan dengan unit pengolahan eksisting di TPA Muara Fajar agar lebih efisien dan berkelanjutan, serta penelitian lanjutan perlu meninjau parameter biomassa dan jenis mikroorganisme dominan untuk memahami mekanisme penyisihan polutan secara lebih mendalam.

5. Konflik Kepentingan

Semua penulis tidak memiliki konflik kepentingan (*conflict of interest*) pada publikasi artikel ini

Daftar Pustaka

- [1] J. Yang, *From Zero Waste to Material Closed Loop*, 1st ed. China: Chemical Industry Press Co., Ltd, 2022.
- [2] H. I. Abdel-Shafy, A. M. Ibrahim, A. M. Al-Sulaiman, dan R. A. Okasha, "Landfill leachate: Sources, nature, organic composition, and treatment: An environmental overview," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 15, no. 1, pp. 1-11, 2024.
- [3] A. Rezagama, M. Hadiwidodo, P. Purwono, N.F. Ramadhani, dan M. Yustika, "T Penyisihan Limbah Organik Air Lindi TPA Jatibarang Menggunakan Koagulasi-Flokulasi Kimia," *Jurnal Teknik*, vol. 37, no. 2, pp. 78-83, 2019.

- [4] K. Pranoto, W. R. Pahilda, M. S. Abfertiawan, A. Elistyandari, dan A. Sutikno, “Teknologi Lumpur Aktif Dalam Pengolahan Air Limbah Pemukiman Karyawan dan Perkantoran PT Kaltim Prima Coal,” *Indonesian Mining Professionals Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 697–704, 2020.
- [5] T. Alfiah dan A. Z. Sinatria, “Pengolahan Lindi Pios Menggunakan Sequencing Batch Reactor (SBR) Pada Perbandingan F/M Rendah,” *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan V*, vol. 30, no. 72, pp. 43–48, 2017.
- [6] H. Viareco, E. Adriansyah, dan R. Sufra, “Potential Sequencing Batch Reactor in Leachate Treatment for Organic and Nitrogen Removal Efficiency,” *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, vol. 15, no. 2, pp. 143–151, 2023.
- [7] L. HT, J. N, dan K. W, “Development of Sequencing Batch Reactor Performance for Nitrogen Wastewater Treatment,” *J. Microb. Biochem. Technol*, vol. 07, no. 06, pp. 363-366, 2015.
- [8] R. Sudarman, H. Budiastuti, N. S. Djenar, E. S. Panggalo, dan A. Nurhasyim, “Penyisihan Kadar Amoniak dalam Limbah Cair Industri Pupuk Menggunakan Sequencing Batch Reactor,” *Jurnal Fluida*, vol. 13, no. 2, pp. 65–72, 2020.
- [9] H. Budiastuti, R. Rismawati, L. Nurfauziah, L. I. Ramadhani, dan E. H. Muhari, “Tofu Wastewater Treatment by using Sequencing Batch Reactor (SBR) with Variation of Feeding Rates,” *Jurnal Rekayasa Hijau*, vol. 5, no. 3, pp. 197–206, 2022.
- [10] Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, 4th ed. North America: McGraw Hill Companies, Inc, 2014.
- [11] S.R. Muria, I. Zahrina, N.T.K, Reza, dan N.R. Farnas, " Pemanfaatan mikroalga Chlorella sp. untuk produksi lipid menggunakan media air lindi TPA Muara Fajar Pekanbaru secara fed-batch,” *Jurnal Litbang Industri*, vol. 14, no. 1, pp. 51–58, 2024.
- [12] A. Dutta dan S. Sarkar, *Sequencing Batch Reactor for Wastewater Treatment*, India: Springer International Publishing AG, 2015.
- [13] M.V. Sperling, *Biological Wastewater Treatment Series : Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors*, London : IWA Publishing, 2018.
- [14] L. K. Wang, N. K. Shammass, dan Y.T. Hung H, *Advanced Biological Treatment Processes*, USA: Humana Press, 2009.
- [15] APHA, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, The 23rd E., Washington DC: American Public Health Association, 2017.
- [16] J. S. Rosesar dan G. A. Kristanto, “Household solid waste composition and characterization in Indonesia Urban Kampong,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 909, no. 1.
- [17] D. I. Mustia, S. Edy, dan A. Nurul, “Analysis of waste composition as a source of refuse-derived fuel in Cilacap,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021, vol. 896, no. 1.
- [18] H. Khair, D. D. S. Mutia, dan T. Matsumoto, “Study of household solid waste generation and composition in Medan City, Indonesia; A case study in Medan Labuhan and Medan Tuntungan,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 245, no. 1.
- [19] D. A. Kusumaningtiar dan G. Vionalita, “Household Solid Waste Management and Composition in Bekasi, Indonesia,” *Macedonian Journal of Medical Sciences*, vol. 10, no. E, pp. 1472–1475, 2022.
- [20] R. T. Napatipulu dan M. H. S. Putra, “Pengaruh BOD, COD dan DO Terhadap Lingkungan Dalam Penentuan Kualitas Air Bersih di Sungai Pesanggrahan,” *Jurnal Teknik Civil dan Lingkungan*, vol. 5, no. 2, pp. 79–82, 2024.
- [21] E. A. Haque, “Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit dengan Sistem Lumpur Aktif Model SBR Skala Laboratorium,” skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [22] Afiah, “Pengaruh Aklimatisasi Lumpur Aktif Terhadap Limbah Cair dari Pabrik Pangan,” *Jurnal Ilmiah Biologi*, vol. 10, no. 2, pp. 1025–1035, 2022.

- [23] Putri, “Pengaruh pH Terhadap Efisiensi Air Limbah Grey Water dengan Media Honeycomb,” *Jurnal Online Mahasiswa F Teknik*, vol. 8, no.1, pp. 1–4, 2021.
- [24] A. Haque, “Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit dengan Sistem Lumpur Aktif Model SBR Skala Laboratorium,” skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [25] N. Hendrasarie dan F. Febriana, “Efektivitas Penambahan Serabut Kelapa Dan Kulit Buah Siwalan Sebagai Adsorben Dan Media Lekat Biofilm Pada Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Sequencing Batch Reactor,” *Jurnal Envirotek*, vol. 14, no. 1, pp. 98–105, 2022.
- [26] N. Anisah dan N. Hendrasarie, “Penerapan Waktu Siklus Singkat pada Granular Activated Carbon Sequencing Batch Reactor (GAC-SBR) untuk Pengolahan Limbah Cair Rumah Makan,” *Jurnal Serambi Engineering*, vol. 7, no. 4, pp. 3803–3811, 2022.
- [27] M. I. Alkahf, Y. A. Razikah, dan E. Nurisman, “Pengolahan Amonia Pada Air Limbah Industri Pupuk Secara Biologis dengan Bakteri Petrofilik Biological Treatment of Ammonia in Fertilizer Industry Wastewater with Petrophilic Bacteria,” *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 27, no. 3, pp. 1–9, 2021.