



Penyisihan COD, TSS, dan TN pada Lindi TPA Klotok Menggunakan Anoxic-Oxic Moving Bed Biofilm Reactor

Tasya Ambar Aimia¹, Naniek Ratni JAR^{2*}

^{1,2*}Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, UPN Veteran Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

Email: ¹tasyaambar47@email.com, ^{2*}naniek_rjar@upnjatim.ac.id

Abstract

*Leachate is a liquid containing extracted, dissolved, and suspended materials from waste in a landfill. Leachate from Klotok landfill contains pollutant loads that do not meet the water quality standards, necessitating treatment. In this study, parameters considered were COD, TSS, and TN. Anoxic-Oxic Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) was chosen due to its compact footprint, low sludge production, ability to handle high COD loads, and not requiring periodic backwash. Variations including media type, media volume, and Hydraulic Retention Time (HRT) were applied to reduce pollutant parameter concentrations. The experiment was conducted in batch-continuous mode. The derived parameter concentrations yielded promising results using a biocube/sponge media in the reactor, constituting 50% of the leachate volume, with an HRT of 45 hours. Upon continuous operation under the best variations for parameter reduction, COD, TSS, and TN values were achieved as 160 mg/L, 132 mg/L, and 31.5 mg/L, respectively. Meanwhile, the average removal percentages for COD, TSS, and TN were 87%, 50%, and 87% respectively. Additionally, microorganism identification was performed in the anoxic-oxic moving bed biofilm reactor, revealing the presence of microorganisms such as coliforms, *Bacillus* sp., and *Pseudomonas* sp.*

Keywords: Anoxic-Oxic MBBR, Kaldnes K1 and Biocube, Leachate.

Abstrak

Lindi merupakan cairan yang mengandung bahan yang terekstraksi, terlarut, dan tersuspensi dari sampah di TPA. Pada lindi TPA klotok terdapat beban pencemar yang belum memenuhi baku mutu, sehingga perlu dilakukan pengolahan. Pada penelitian ini parameter yang diturunkan yaitu COD, TSS, dan TN. *Anoxic-Oxic Moving Bed Biofilm Reactor* dipilih karena MBBR tidak membutuhkan area yang luas menghasilkan lumpur yang sedikit, lebih tahan menerima beban dengan COD yang tinggi, dan tidak membutuhkan *backwash* secara periodik. Diberlakukan variasi berupa jenis media, volume media, dan HRT dalam menurunkan konsentrasi parameter pencemar. Penelitian dilakukan secara *batch*-kontinu. Konsentrasi nilai parameter yang diturunkan memiliki nilai baik pada reaktor dengan media *biocube*/spons sebanyak 50% dari volume lindi dengan HRT 45 jam. Setelah *running* secara kontinu pada variasi terbaik untuk menurunkan parameter, didapatkan nilai COD, TSS, dan TN berturut-turut yaitu 160 mg/L, 132 mg/L, dan 31.5 mg/L. Sementara itu, rata-rata persentase penyisihan COD, TSS, dan TN berturut-turut yaitu sebesar 87%, 50%, dan 87%. Selain itu, dilakukan juga identifikasi mikroorganisme dalam proses *anoxic-oxic moving bed biofilm reactor* yang mana terdapat mikroorganisme seperti coliform, *Bacillus* sp., dan *Pseudomonas* sp. didalamnya.

Kata Kunci: Anoxic-Oxic MBBR, Kaldnes K1 dan Biocube, Lindi.

1. PENDAHULUAN

TPA Klotok merupakan tempat pembuangan sampah yang berada di Kota Kediri yang menghasilkan air lindi yang pengolahannya belum bekerja secara maksimal yang dibuktikan dengan beberapa bahan pencemar yang belum memenuhi baku mutu sesuai dengan regulasi yang sudah ditetapkan. Air lindi yang dihasilkan oleh TPA memiliki sifat toksik dan berbahaya apabila langsung terpapar pada lingkungan (Marendra & Tangahu, 2020). . Karakteristik limbah lindi dapat dilihat melalui karakteristik fisik, kimia dan biologi. Karakteristik fisik yang dimiliki lindi antara lain warna, suhu, kekeruhan dan bau. Karakteristik biologis yang ada di lindi yaitu koliform, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Proteus*, dan *Pseudomonas*. Karakteristik kimia yang ada pada lindi antara lain pH, COD, BOD, DO, alkalinitas, kesadahan, logam berat, lemak atau minyak, fenol dan sebagainya (Hariyanto et al., 2013). TPA Klotok berada di lingkungan pemukiman penduduk, sehingga diperlukan metode pengolahan yang efektif untuk mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan oleh keberadaan TPA.

Dalam upaya mengurangi dampak negatif yang disebabkan oleh pengolahan air lindi yang belum maksimal, diperlukan pengolahan lindi yang tepat. Terdapat beberapa pengolahan yang dapat digunakan untuk mengolah lindi. Pengolahan ini dapat berupa pengolahan fisis atau kimiawi dan biologis. Pengolahan fisis atau kimiawi yang bisa digunakan antara lain filtrasi, *air stripping*, *steam stripping*, adsorpsi, *ion exchange*, dan sebagainya. Sementara itu, pengolahan biologis yang dapat digunakan yaitu *activated sludge*, *sequencing batch reactor*, *aerated stabilization basin*, *fixed film process*, *aerated stabilization basin*, *fixed film process*, *anaerobic lagoon*, dan nitrifikasi atau denitrifikasi (Moeller, 2019). Proses pengolahan berbasis biofilm terbukti efektif dalam menghilangkan bahan organik dan nutrient dari lindi tanpa menimbulkan masalah. Dalam penelitian ini *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR), dipilih dikarenakan menunjukkan potensi untuk efisiensi pengolahan yang tinggi tanpa memerlukan area yang luas atau perlengkapan pengolahan yang rumit (Ødegaard, H., Rusten, B., 1994). Selain itu, MBBR tidak membutuhkan area yang luas menghasilkan lumpur yang sedikit, lebih tahan menerima beban dengan COD yang tinggi, dan tidak membutuhkan *backwash* secara periodic (Borkar, A., Jensen, S., Bjerg, P., Christensen, T., & Nyholm, 2013). Penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa MBBR mampu mencapai hasil yang mengesankan dalam pengolahan limbah jenis tertentu, seperti limbah domestik rumah makan (Farahdiba et al., 2019).

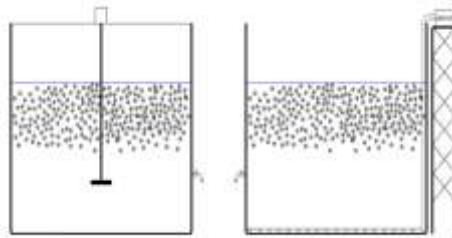
Pada penelitian sebelumnya, MBBR dengan reaktor aerobik digunakan untuk mengolah limbah domestik rumah makan, berhasil menyisihkan COD sebesar 97,73% dan TSS sebesar 63,04% (Dickdoyo & Cahyonugroho, 2021). Sementara itu penelitian yang dilakukan oleh (Anisa et al., 2019) yang menggunakan proses aerob mampu menyisihkan Total Nitrogen 75,7%, BOD sebesar 75% dan COD sebesar 35,8% dengan jenis limbah yang digunakan yaitu limbah air lindi. Pada penelitian ini memiliki tujuan untuk mengeksplorasi penggunaan *anoxic-oxic moving bed biofilm reactor* dalam mengolah air lindi TPA Klotok. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh dan efisiensi dari variasi jenis media, volume media, dan waktu tinggal hidrolik (HRT) dalam menurunkan kandungan *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solids* (TSS), dan Total Nitrogen (TN) dalam air lindi. Selain itu, penelitian ini juga mengidentifikasi mikroorganisme yang ada dalam reaktor *anoxic-oxic moving bed biofilm reactor* sebagai bagian dari pemahaman lebih mendalam tentang proses pengolahan tersebut. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan akan memberikan kontribusi penting dalam meningkatkan pengelolaan air lindi di TPA Klotok, menjaga kualitas lingkungan, dan mencapai standar baku mutu yang berlaku.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan reaktor *anoxic-oxic Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dalam skala laboratorium. Influen dari reaktor ini berasal dari lindi TPA Klotok, Kediri, dengan karakteristik yang telah diidentifikasi sebelumnya. Sebelum memulai proses pengolahan utama, dilakukan persiapan awal termasuk persiapan alat dan bahan, pengambilan sampel lindi, dan pembuatan reaktor MBBR. Parameter yang akan diuji dalam penelitian ini adalah *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solids* (TSS), dan Total Nitrogen (TN). Analisis parameter-parameter ini dilakukan sebelum, selama, dan setelah proses pengolahan. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu jenis media (kaldnes K1 dan *biocube*), volume media (15%, 40%, dan 50% dari volume lindi dalam reaktor), dan HRT (24 jam, 36 jam, dan 45 jam).

Reaktor MBBR yang digunakan terbuat dari bahan plastik dengan volume total 16 L, yang terdiri dari bagian pengolahan dengan volume 10 L. Dalam penelitian ini, media kaldnes tipe K1 dan spons (*biocube*) digunakan dengan variasi volumetrik 15%, 40%, dan 50% dari volume reaktor. Seluruhnya terdapat 12 reaktor, dengan 6 reaktor untuk kondisi anoxic dan 6 reaktor untuk kondisi oxic. Pengadukan pada kondisi anoxic dilakukan dengan menggunakan pengaduk mekanik, sementara pergerakan media pada kondisi oxic disebabkan oleh aerasi dengan debit 7 L/menit menggunakan flowmeter. Kecepatan pengadukan mekanik diatur antara 50 hingga 60 rpm. Penelitian ini dibagi menjadi 3 tahapan, yaitu *seeding*, aklimatisasi, dan penelitian utama.

Gambar 1. Desain Reaktor (kiri) anoxic (kanan) oxic



Sumber: Rancangan penulis, 2023

2.1 *Seeding* dan Aklimatisasi

Seeding merupakan proses pembibitan mikroorganisme dalam reaktor. Mikroorganisme yang digunakan dalam reaktor ini yaitu mikroorganisme alami dari lindi. Nutrisi diberikan pada setiap reaktor selama waktu *seeding* berlangsung. Nutrisi yang diberikan EM4 dan gula pasir. Proses *seeding* dilakukan dengan menjalankan pengaduk mekanik pada reaktor anoxic dan menginjeksikan udara pada reaktor oxic. Proses *seeding* dilakukan hingga lapisan biofilm terbentuk pada media kaldnes K1 dan *biocube*, serta kandungan *Mixed Liquor Suspended Solid* (MLSS) mencapai level yang sesuai dengan kriteria MBBR.

Tahap aklimatisasi melibatkan adaptasi mikroorganisme terhadap kondisi lindi. Proses ini dilakukan secara bertahap, dan aklimatisasi dianggap berhasil saat kondisi steady state tercapai, dan efisiensi peyisihan mencapai 50% dari konsentrasi awal. Setelah aklimatisasi, tahap penelitian utama dimulai. Aklimatisasi berlangsung dengan sistem *batch* yaitu menambahkan air limbah yang akan diolah dengan konsentrasi yang ditentukan, pada penelitian ini konsentrasi limbah yang digunakan yaitu 25%, 50%, dan 75%.

2.2 Penelitian utama

Penelitian utama dilakukan secara *batch* dan kontinu. Penelitian secara *batch* dilakukan untuk menentukan jenis media, volume media, dan HRT paling optimum. Setelah itu, dioperasikan secara kontinu untuk mengetahui kestabilan penurunan beban pencemar. Influen dari reaktor *anoxic* merupakan lindi TPA Klotok, sedangkan influen dari reaktor *oxic* adalah effluent dari reaktor *anoxic*. Pada operasi secara kontinu waktu sampling yang ditentukan adalah 0, 3, 6, 9, dan 12 jam. Pengambilan sampel dilakukan pada berbagai tahap, termasuk sebelum dan sesudah memasuki reaktor MBBR *anoxic* dan *oxic* sesuai dengan HRT yang ditentukan. Pengujian dilakukan sesuai dengan standar SNI yang berlaku, meliputi pengujian COD, TSS, TN, *Dissolved Oxygen* (DO), pH, dan suhu. Data hasil pengujian dianalisis untuk menilai efisiensi penurunan parameter COD, TSS, dan TN pada setiap variasi media dan HRT. Pengecekan pH, suhu, dan DO digunakan untuk memantau kondisi lingkungan dalam reaktor.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Penelitian Pendahuluan

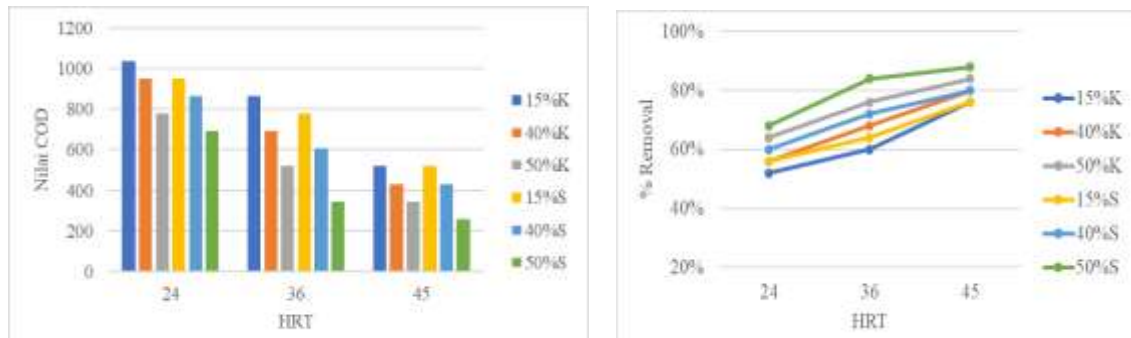
Penelitian pendahuluan yaitu berupa analisa awal untuk mengetahui kandungan lindi yang belum memenuhi baku mutu. Setelah itu dilakukan proses seeding dan aklimatisasi. Hasil analisa awal karakteristik lindi TPA Klotok dapat dilihat pada Tabel.1 dibawah ini.

Tabel 1. Karakteristik awal lindi TPA Klotok

Parameter	Hasil	Baku Mutu	Satuan	Regulasi	Keterangan
TSS	280	100	mg/L	Peraturan Menteri LH Nomor 59 Tahun 2016	Tidak Memenuhi
COD	2080	300	mg/L		Tidak Memenuhi
pH	8.07	6 – 9	-		Memenuhi
Total Nitrogen	280	60	mg/L		Tidak Memenuhi
Merkuri	$< 1.59 \times 10^{-5}$	0.005	mg/L		Memenuhi
Kadmium	< 0.0014	0.1	mg/L		Memenuhi

Proses *seeding* berlangsung selama 24 hari. Setiap 4 hari sekali terdapat 4 parameter yang diperiksa, yaitu MLSS, DO, pH, dan suhu. Pemeriksaan MLSS bertujuan untuk mengetahui laju pertumbuhan bakteri dalam reaktor apakah sudah memenuhi persyaratan yaitu dengan total minimum mikroorganisme 3500 – 4500 mg/L (Tchobanoglous et al., 2003). Biofilm pada reaktor mulai terbentuk setelah ± 12 hari. Pada media ketebalan biofilm mencapai 0,3 cm dan biofilm yang berbentuk seperti lumut berwarna coklat muda. Proses aklimatisasi dibagi menjadi 3 tahap. Pada tahap awal (tahap 1) dalam reaktor, efisiensi penyisihan COD berkisar antara 9% hingga 33%. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan air lindi dengan karakteristik yang berbeda memicu adaptasi mikroorganisme terhadap komposisi baru. Pada tahap berikutnya (tahap 2 dan 3) efisiensi penyisihan COD meningkat. Pada tahap 2, efisiensi mencapai kisaran 32% hingga 45%, dan pada tahap 3, efisiensi meningkat menjadi 50% hingga 63% di semua reaktor. Hasil ini menunjukkan bahwa mikroorganisme telah berhasil beradaptasi dengan kondisi baru. Setelah aklimatisasi selesai, penelitian dilanjutkan dengan tahap pengolahan secara *batch* dan kontinyu.

3.2. Pengaruh Jenis Media, Volume Media dan HRT terhadap COD

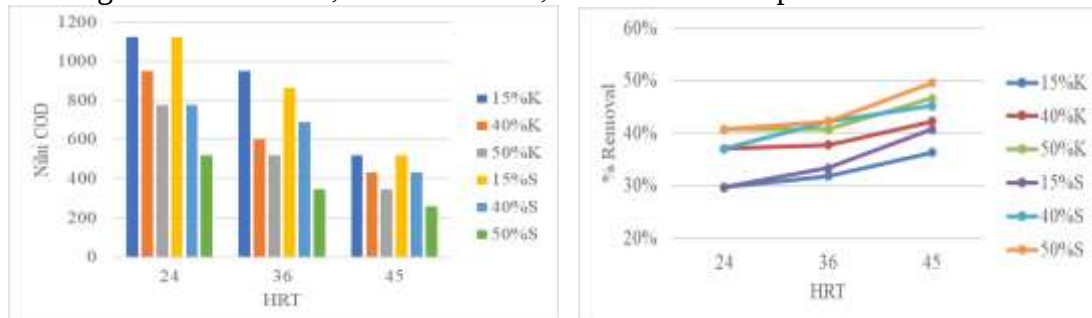


Gambar 2. Grafik penurunan dan penyisihan COD terhadap variasi jenis media, volume media, dan HRT
Sumber: Analisis penulis, 2023

Hasil menunjukkan bahwa efisiensi penurunan COD lebih baik menggunakan media spons dengan volume 50% dan HRT 45 jam, mencapai 259.2 mg/L yang memiliki efisiensi sebesar 88%. Hasil ini memenuhi regulasi baku mutu COD yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup.

Media spons menghasilkan efisiensi penyisihan COD terbaik karena luas permukaannya yang lebih besar dibandingkan kaldnes, memberikan ruang lebih untuk mikroorganisme tumbuh dan menempel (Al Kholif & Febrianti, 2019). Sifat kaldnes yang mudah rontok juga memengaruhi hasil. Spons memiliki porositas yang besar, memungkinkan mikroorganisme menempel dalam pori-porinya, yang berkontribusi pada pembentukan biofilm yang lebih banyak (Sonwani et al., 2019). Volume media 50% menghasilkan penurunan COD yang lebih baik dibandingkan 15% dan 40%, karena luas permukaan yang lebih besar dan ruang kosong yang lebih besar. Efisiensi penyisihan COD juga meningkat seiring dengan peningkatan HRT, karena waktu kontak yang lebih lama antara biomassa dan substrat dalam reaktor. Proses ini berjalan lambat dan mikroorganisme masih aktif dalam mendegradasi zat organik dalam limbah (Dianti et al., 2019).

3.3. Pengaruh Jenis Media, Volume Media, dan HRT terhadap TSS



Gambar 3. Grafik penurunan dan penyisihan TSS terhadap variasi jenis media, volume media, dan HRT
Sumber: Analisis penulis, 2023

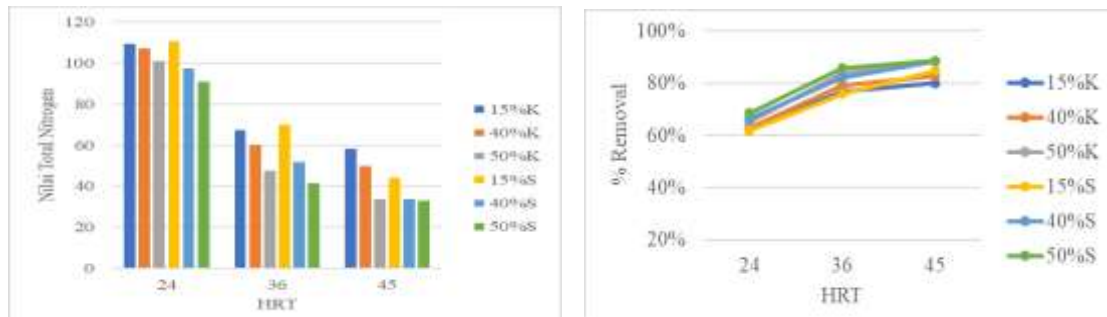
Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi TSS paling efektif terjadi pada reaktor anoxic-oxic MBBR dengan media spons sebanyak 50% dari volume air limbah dan HRT 45 jam, menghasilkan nilai terendah sebesar 136 mg/L dengan nilai efisiensi sebesar 50%. Meskipun demikian, hasil penelitian ini belum memenuhi regulasi baku mutu TSS yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup.

Penggunaan media kaldnes K1 dan spons menjadi perbandingan dalam penelitian ini, dan hasil menunjukkan bahwa media spons memiliki kemampuan lebih baik dalam

menyisihkan TSS. Media dengan bahan HDPE, polypropylene, plastik, dan keramik serta permukaan berpori besar digunakan dalam MBBR untuk pertumbuhan mikroorganisme. Reaktor dioperasikan dengan gerakan pembawa ke atas yang melintasi permukaan reaktor, mencegah penyumbatan dan meningkatkan aktivitas biomassa untuk mendegradasi zat organik dalam limbah (Nayan et al., 2021).

Hasil menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi TSS paling efektif terjadi pada volume media 50%. Semakin besar volume media, semakin luas permukaan media untuk tumbuhnya mikroorganisme. Efek HRT juga terlihat dalam penurunan TSS, dengan penurunan paling signifikan terjadi pada HRT 45 jam. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri memiliki efisiensi degradasi yang lebih baik saat waktu detensi diperpanjang. Konsentrasi TSS secara bertahap berkurang seiring peningkatan HRT, karena partikel memiliki lebih banyak waktu untuk mengendap dan menempel pada permukaan media. Meskipun hasil penelitian ini belum memenuhi standar baku mutu, konsentrasi TSS cenderung menurun seiring peningkatan HRT (Kawan et al., 2022).

3.3. Pengaruh Jenis Media, Volume Media, dan HRT terhadap TSS



Gambar 4. Grafik penurunan dan penyisihan TN terhadap variasi jenis media, volume media, dan HRT

Sumber: Analisis penulis, 2023

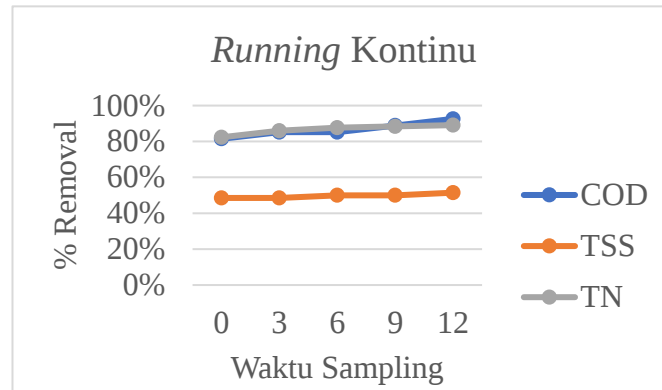
Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai konsentrasi total nitrogen dengan menggunakan media biocube/spons, dengan volume 50%, dan HRT 45 jam, mencapai 32.9 mg/L dengan efisiensi penyisihan sebesar 90%. Nilai ini memenuhi regulasi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup.

Nitrifikasi adalah oksidasi ammonia menjadi nitrit dan nitrit menjadi nitrat, sedangkan denitrifikasi adalah reduksi nitrat menjadi nitrit oksida, nitrous oksida, dan gas nitrogen (Gerardi, 2002). Bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrospira* mengubah ammonia menjadi nitrit, sementara *Nitrobacter* dan *Nitrospira* mengubah nitrit menjadi nitrat. Pada proses denitrifikasi, bakteri anaerob fakultatif seperti *Alcaligenes*, *Bacillus*, dan *Pseudomonas* berperan. Bakteri nitrifikasi mengoksidasi ammonia dan nitrit untuk mendapatkan energi dan berkembang biak. Kondisi energi yang rendah mengakibatkan pertumbuhan bakteri nitrifikasi lambat. Pada kondisi optimum, pertumbuhan bakteri nitrifikasi berlangsung sekitar 8-10 jam, sementara di luar kondisi tersebut, pertumbuhan bisa memakan waktu 2-3 hari.

Media jenis biocube atau spons memiliki penurunan total nitrogen yang lebih besar karena strukturnya yang berpori, memfasilitasi pertumbuhan biofilm tanpa hambatan. Media ini juga memiliki luas permukaan yang lebih besar, mendukung tingkat nitrifikasi yang lebih tinggi (Borkar, A., Jensen, S., Bjerg, P., Christensen, T., & Nyholm, 2013). Volume media berpengaruh pada luas permukaan media untuk menempelnya biofilm. Penelitian menunjukkan bahwa penurunan total nitrogen terbesar terjadi pada media biocube/spons dengan volume 50% dari volume air limbah.

Penurunan total nitrogen paling signifikan terjadi pada kondisi running dengan HRT 45 jam. Hal ini mengindikasikan bahwa kemampuan degradasi lebih baik pada HRT yang lebih lama. HRT memengaruhi proses nitrifikasi, yang harus dijalankan pada HRT yang cukup lama untuk memenuhi standar penurunan amonium sesuai peraturan (Borkar, A., Jensen, S., Bjerg, P., Christensen, T., & Nyholm, 2013).

3.5. Penelitian secara Kontinu



Gambar 5. Grafik penyisihan beban pencemar dengan pengolahan secara kontinu

Sumber: Analisis penulis, 2023

Penelitian secara kontinu dilakukan dengan variasi terbaik, yaitu jenis media spons, volume media sebanyak 50% dari volume lindi, dan HRT selama 45 jam. Hasil dari penyisihan COD, TSS, dan total nitrogen. Hasil penelitian pada sistem kontinu memiliki rata-rata penyisihan pencemar sebagai berikut, COD 87%, TSS 50%, dan Total Nitrogen 87%. Hasil penyisihan yang stabil menunjukkan bahwa *anoxic-oxic moving bed biofilm reactor* telah berjalan dengan baik.

3.6. Identifikasi Mikroorganisme

Hasil uji laboratorium mengungkapkan adanya 3 bakteri dominan dalam sampel uji, yaitu Coliform, *Bacillus* sp., dan *Pseudomonas* sp. Ketiga bakteri ini memiliki peran penting dalam proses degradasi beban pencemar di berbagai tahap, dan juga relevan dalam memastikan kelayakan air limbah sebelum diembankan ke badan air.

Bakteri Coliform mampu hidup pada suhu 29-31°C dan keberadaannya dapat menjadi indikator adanya bakteri patogen lainnya. Kontaminasi bakteri Coliform meningkatkan risiko kehadiran bakteri patogen, oleh karena itu penghapusan bakteri ini diperlukan untuk menjaga kualitas air (Widyaningsih et al., 2016). Adanya Coliform dalam air limbah mungkin disebabkan oleh karakteristik sampah, umur Tempat Pembuangan Akhir (TPA), dan praktik penanganan sampah di TPA (Aziz et al., 2010).

Bakteri genus *Bacillus*, seperti *Bacillus* sp., memiliki kemampuan menghasilkan enzim amilase yang penting dalam mendegradasi bahan organik seperti BOD dan COD (Zahidah & Shovitri, 2013). Bakteri ini juga memiliki daya tahan terhadap senyawa antiseptik, sifat aerob atau fakultatif anaerob, serta mampu mendegradasi senyawa kompleks dan xenobotik. *Bacillus* sp. (Arohmah, 2022). Sementara itu, *Pseudomonas* sp. pada umumnya tidak memiliki enzim hidrolitik penting untuk degradasi polimer menjadi monomer. Namun, bakteri ini memiliki sistem operon inducible yang dapat menghasilkan enzim tertentu saat menghadapi sumber karbon yang tidak umum. *Pseudomonas* sp. memiliki peran penting dalam proses biodegradasi (Anggraeni & Triajie, 2021). Habitat alami *Pseudomonas* sp. meliputi tanah, perairan, dan kulit manusia. Bakteri ini mampu tumbuh dalam kondisi rendah oksigen dan memiliki kemampuan untuk mendegradasi

hidrokarbon serta mengolah senyawa nitrogen dan logam berat. *Pseudomonas sp.* juga dapat membentuk biofilm dalam lingkungan tertentu (Nicula et al., 2022).

4. KESIMPULAN

Penggunaan *anoxic-oxic Moving Bed Biofilm Reactor* didapatkan yang terbaik dengan variasi jenis media spons (biocube), volume media 50% dari volume air lindi, dan HRT 45 jam menghasilkan penurunan parameter COD, TSS, dan TN yang paling signifikan. Setelah proses pengolahan, konsentrasi parameter COD menjadi 259.2 mg/L, TSS menjadi 136 mg/L, dan TN menjadi 32.9 mg/L. Setelah proses *running* secara batch dilakukan *running* secara kontinyu, reaktor dengan pengolahan terbaik didapatkan efisiensi penyisihan rata-rata sebesar 87% untuk COD, 50% untuk TSS, dan 87% untuk TN. Selama proses *running* juga dilakukan proses identifikasi mikroorganisme, yang mana setelah dianalisa terdapat tiga jenis mikroorganisme dominan, yaitu coliform, *Pseudomonas sp.*, dan *Bacillus sp.* Identifikasi dalam reaktor menunjukkan adanya mikroorganisme yang memberikan manfaat dalam proses degradasi beban pencemar yaitu *Pseudomonas sp.*, dan *Bacillus sp.*, serta pentingnya penghilangan bakteri patogen seperti coliform.

5. REFERENCES

- Al Kholif, M., & Febrianti, E. (2019). Penerapan Teknologi Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) Bermedia Kaldness dalam Menurunkan Pencemar Air Lindi. *Jurnal*, 2(1), 1–12.
- Anggraeni, A., & Triajie, H. (2021). Uji Kemampuan Bakteri (*Pseudomonas aeruginosa*) dalam Proses Biodegradasi Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb), di Perairan Timur Kamal Kabupaten Bangkalan. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan Dan Perikanan*, 2(3), 176–185. <https://doi.org/10.21107/juvenil.v2i3.11754>
- Anisa, S., Darwin, D., & Yasar, M. (2019). Pengaruh Aplikasi Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) Untuk Pengolahan Limbah Air Lindi (Leachate) Secara Aerobik Terhadap Kualitas Air. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 4(3), 125–134. <https://doi.org/10.17969/jimfp.v4i3.11544>
- Arohmah, N. E. (2022). Kinetika Pertumbuhan *Bacillus sp* dalam Menurunkan Zat Organik Pada Air Limbah Industri Batik.
- Aziz, S. Q., Aziz, H. A., Yusoff, M. S., Bashir, M. J. K., & Umar, M. (2010). Leachate characterization in semi-aerobic and anaerobic sanitary landfills: A comparative study. *Journal of Environmental Management*, 91(12), 2608–2614. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.07.042>
- Borkar, A., Jensen, S., Bjerg, P., Christensen, T., & Nyholm, N. (2013). Moving Bed Biofilm Reactor – A New Perspective in Wastewater Treatment. *IOSR Journal Of Environmental Science, Toxicology And Food Technology*, 6(6), 15–21. <https://doi.org/10.9790/2402-0661521>
- Dianti, L. A., Rony, T., Ruhmawati, T., Farmasi, L. C., & Tinggal, W. (2019). Perbedaan waktu tinggal biofilter secara aerob dalam penurunan kadar cod limbah cair farmasi. *Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes Depkes Bandung*, 11(2), 142–146.
- Dickdoyo, A. T., & Cahyonugroho, O. H. (2021). Pengolahan Limbah Domestik Rumah Makan Dengan Moving Bed Biofilm Reactor (Mbbr). *Jurnal Envirotek*, 13(1), 33–36. <https://doi.org/10.33005/envirotek.v13i1.116>
- Farahdiba, A. U., Purnomo, Y. S., Sakti, S. N., & Kamal, M. F. (2019). Pengolahan Limbah Domestik Rumah Makan Dengan Moving Bed Biofilm Reactor (Mbbr). *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 5(1), 65–74.
- Gerardi, M. H. (2002). Nitrification and denitrification in the activated sludge process. In *Biotechnology for Waste and Wastewater Treatment*. <https://doi.org/10.1016/b978-081551409-1.50006-6>

- Hariyanto, S., Supriyanto, A., Citasari, N., & Soedarti, T. (2013). *Karakteristik Lindi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Sebagai Data Rancangan Teknologi Pengolahan Limah Cair*. <http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203>
- Kawan, J. A., Suja', F., Pramanik, S. K., Yusof, A., Rahman, R. A., & Hasan, H. A. (2022). Effect of Hydraulic Retention Time on the Performance of a Compact Moving Bed Biofilm Reactor for Effluent Polishing of Treated Sewage. *Water (Switzerland)*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/w14010081>
- Marendra, S. M. P., & Tangahu, B. V. (2020). *Strategi Pengelolaan Air Tanah Dangkal di Sekitar TPA Jabon Kabupaten Sidoarjo*.
- Moeller, D. W. (2019). Solid Waste. In *Environmental Health, Third Edition*. <https://doi.org/10.2307/j.ctvjz80w7.13>
- Nayan, S. B., Bari, Q. H., Debnath, P. K., & Ahmed, J. (2021). Influence of Different Hydraulic Retention Time on Modified Septic Tank System for Faecal Sludge Treatment. *Science Letters, April*, 18–24. <https://doi.org/10.46890/SL.2020.v02i04.001>
- Nicula, N. O., Lungulescu, E. M., Ieropoulos, I. A., Rambu, G. A., & Csutak, O. (2022). Nutrients Removal from Aquaculture Wastewater by Biofilter/Antibiotic-Resistant Bacteria Systems. *Water (Switzerland)*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/w14040607>
- Ødegaard, H., Rusten, B., & Westrum. (1994). *A NEW MOVING BED BIOFILM REACTOR-APPLICATION AND RESULTS* (Issue August).
- Sonwani, R. K., Swain, G., Giri, B. S., Singh, R. S., & Rai, B. N. (2019). A novel comparative study of modified carriers in moving bed biofilm reactor for the treatment of wastewater: Process optimization and kinetic study. *Bioresource Technology*, 281(January), 335–342. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.02.121>
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). Wastewater Engineering Treatment and Reuse (Fourth Edition). In *Metcalf & Eddy, Inc.* <https://doi.org/10.1093/nq/179.18.317-a>
- Widyaningsih, W., Widyorini, N., Studi, P., Sumberdaya, M., Diponegoro, U., & Coliform, B. (2016). *Analisis Total Bakteri Coliform di Perairan Muara kali Wisu Jepara*. 5, 157–164.
- Zahidah, D., & Shovitri, M. (2013). Isolasi , Karakterisasi dan Potensi Bakteri Aerob Sebagai Pendegradasi Limbah Organik. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*, 2(1), 12–15.