

Pengaruh *Hydraulic Retention Time* pada Proses Aklimatisasi Reaktor Nitrifikasi Biofilter dari Olahan Limbah Cair Industri Tahu

The Effect of Hydraulic Retention Time on the Biofilter Nitrification Reactor Acclimatization Process from Processed Tofu Industrial Liquid Waste

Fatimah¹, Muhammad Turmuzi¹, Nyimas Yanqoritha^{*2}

¹Departemen Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara, Jalan Almamater Kampus USU, Medan, Indonesia.

²Program Studi Rekayasa Sipil, Universitas Prima Industri, Jalan Sampul, Medan, Indonesia

*Email: nyimasyanqoritha@unprimdn.ac.id

Article history:

Diterima : 19 Oktober 2024
Direvisi : 25 April 2025
Disetujui : 23 Mei 2025
Mulai online : 27 September 2025

E-ISSN: 2337-4888

How to cite:

Fatimah, Muhammad Turmuzi, Nyimas Yanqoritha. (2025). Pengaruh *Hydraulic Retention Time* pada Proses Aklimatisasi Reaktor Nitrifikasi Biofilter dari Olahan Limbah Cair Industri Tahu. Jurnal Teknik Kimia USU, 14(2), 1-9.

ABSTRAK

Karakteristik air limbah tahu di Polonia-Medan, mengandung beban organik tinggi dan derajat keasaman antara 4-5 sehingga perlu diolah secara tepat. Teknik pengolahan awal telah dilakukan secara anaerob, namun kandungan $\text{NH}_3\text{-N}$ masih tinggi sehingga perlu dilakukan proses nitrifikasi. Biofilter banyak dimanfaatkan sebagai media pertumbuhan mikroorganisme pada pengolahan limbah. *Bio ball* sebagai media pertumbuhan mikroorganisme telah dilakukan sebelumnya pada pengolahan air limbah tahu secara anaerob. *Biofilter bio ball* ini mampu optimal menyediakan pertumbuhan mikroorganisme, sehingga penelitian ini juga menggunakan *bio ball* sebagai media biofilter. Proses aerob pada reaktor nitrifikasi biofilter dengan variasi *hydraulic retention time* (HRT) 24, 12, 6 jam dan konsentrasi substrat 50% dan 100% terhadap proses aklimatisasi. Aklimatisasi menunjukkan bahwa HRT mempengaruhi proses aklimatisasi terhadap variasi konsentrasi substrat. Hasil proses penyisihan tertinggi pada HRT 24 jam, konsentrasi substrat 100%, yaitu menghasilkan penyisihan $\text{NH}_3\text{-N}$ 86,95 %, COD 77,97% dan menghasilkan nitrat 103,25 mg/L.

Kata kunci: HRT, reaktor *biofilter*, aklimatisasi, efluen, limbah cair

ABSTRACT

The characteristics of tofu wastewater in Polonia-Medan contain a high organic load and an acidity degree of between 4-5 so it needs to be treated appropriately. The initial processing technique has been carried out anaerobically, but the $\text{NH}_3\text{-N}$ content is still high so it is necessary to carry out a nitrification process. Biofilters are widely used as a medium for the growth of microorganisms in waste processing. *Bio balls* as a medium for the growth of microorganisms have been previously carried out in anaerobic processing of tofu wastewater. This *bio ball* biofilter is capable of providing optimal growth of microorganisms, so this research also uses *bio balls* as biofilter media. Aerobic process in the biofilter nitrification reactor with variations in *hydraulic retention time* (HRT) of 24, 12, 6 hours and substrate concentrations of 50% and 100% for the acclimatization process. Acclimatization shows that HRT influences the acclimatization process to variations in substrate concentration. The highest removal process results were at 24 hour HRT, 100% substrate concentration, which resulted in $\text{NH}_3\text{-N}$ removal of 86.95%, COD 77.97% and nitrate production of 103.25 mg/L.

Keyword: HRT, biofilter reactor, acclimatization, effluent, industry waste



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International.
<https://doi.org/10.32734/jtk.v14i2.18609>

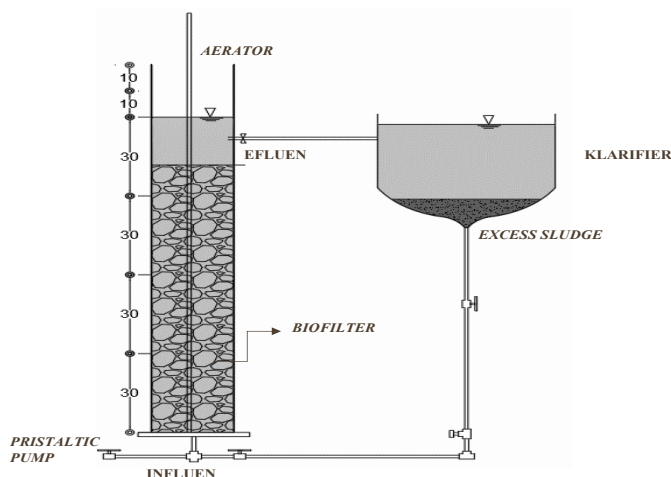
1. Pendahuluan

Limbah cair industri tahu termasuk sumber terbesar penyumbang nitrogen organik pada sistem perairan karena mengandung protein tinggi yang dapat segera terurai. Karakteristik air limbah industri tahu di Medan Deli Serdang, mengandung beban organik tinggi dan mempunyai derajat keasaman 4-5 [1], karena kondisi tersebut maka air limbah industri tahu potensial sebagai sumber pencemaran, mengakibatkan utrofikasi, alga beracun, kerusakan habitat di sungai, danau, dan berbagai wilayah pesisir, hipoksia, dan peningkatan emisi N_2O di atmosfer [2]. Amonia larut dalam air sebagai reaksi kimia, yang bertindak sebagai basa untuk mendapatkan ion hidrogen dari H_2O menghasilkan ion amonium (NH_4^+) dan ion hidroksida (OH^-) [3].

Kandungan ammonium harus di bawah 1 mg/L yaitu 0,5 mg/L untuk *Maximum Acceptable Concentration* (MAC), untuk Nitrat 50 mg/L, Nitrit 0,1 mg/L dan *Maximum Contaminant Levels* (MCL) 44,3 mg/L untuk nitrat dan 4,4 mg/L untuk nitrit [4]. Berdasarkan karakteristik air buangan industri tahu tersebut maka peneliti telah melakukan penyisihan polutan menggunakan reaktor *hybrid upflow anaerobic sludge blanket* (HUASB) [5], upaya agar molekul kompleks dipecah proses hidrolisis dan fermentasi tahap pembentukan asam, fase metanogenesis mikroorganisme membentuk biogas [1], [7]. Namun kandungan NH_3-N olahan reaktor HUASB masih tinggi sekitar 215 mg/L, dan COD 915 mg/L dan standar air buangan untuk baku mutu industri tahu berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup (PMLH) No. 5 tahun 2014 parameter COD 300 mg/L [7]. Oleh karena itu efluen tersebut harus dioksidasi secara nitrifikasi untuk memecah kandungan NH_3-N [8]. Penelitian ini menggunakan reaktor *biofilter* nitrifikasi dan perlu dilakukan aklimatisasi optimal proses agar mikroorganisme dapat beradaptasi dengan air limbah sehingga didapat media tumbuh kembang yang terbaik. Biofilter banyak dimanfaatkan sebagai media pertumbuhan mikroorganisme pada pengolahan limbah. *Bio ball* sebagai media pertumbuhan mikroorganisme telah dilakukan sebelumnya pada pengolahan air limbah tahu secara anaerob dan terbukti mampu optimal menyisihkan polutan lebih dari 86% [5], dibandingkan media *polyvinyl chloride* (PVC) [6], sehingga penelitian ini juga menggunakan *bio ball* sebagai media biofilter. Proses aklimatisasi dilakukan pada variasi *hydraulic retention time* (HRT) terhadap konsentrasi substrat. Pengaruh HRT pada pemrosesan merupakan faktor penting yang mempengaruhi efisiensi pembuangan nitrogen dalam sistem pengolahan air limbah. HRT menentukan durasi air limbah yang berdampak pada aktivitas mikroba dan kinerja pengolahan secara keseluruhan. Keragaman mikroba meningkat seiring waktu operasi, tetapi kelimpahan bakteri pengoksidasi amonia dan pengoksidasi nitrit menurun dengan HRT yang lebih pendek, dan mempengaruhi kinerja nitrifikasi [9]–[12], namun HRT yang terlalu lama juga dapat menghasilkan penghilangan nutrisi terendah dan tidak menguntungkan [13], [14]. HRT yang optimal dapat meningkatkan proses nitrifikasi, sementara penyimpangan dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem. Sehingga proses aklimatisasi sangat penting untuk mengkondisikan kinerja proses agar aktivitas mikroorganisme berjalan secara optimal.

2. Metode

Proses nitrifikasi dilakukan menggunakan reaktor nitrifikasi, volume operasi 10 L dan *bio ball* warna hitam sebagai *biofilter* [15]. Gambar 1 menunjukkan rangkaian alat proses nitrifikasi sistem biakan *biofilter* menggunakan *bio ball* diameter 4 cm, luas spesifik $230 \text{ m}^2/\text{m}^3$, porositas rongga 0,92. Rangkaian reaktor dimulai dari inlet untuk aliran influen substrat yang dialirkan oleh pompa peristaltik secara *upflow*, proses nitrifikasi terjadi dibantu oleh aerator untuk kebutuhan oksigen terlarut (DO), dan aliran efluen keluar sesuai dengan HRT setiap perlakuan konsentrasi substrat menuju klarifier. Proses nitrifikasi dioperasikan pada kondisi khusus yaitu: pH 6-8,5, $DO > 3 \text{ mg/L}$ [16]–[18]. *Seeding* dilakukan selama satu minggu secara *batch*. Proses pembiakan (*seeding*) dan aklimatisasi mikroorganisme dilakukan secara kontinyu terhadap efluen terolah dari reaktor HUASB. Proses *seeding* atau pembiakan mikroba dilakukan bersamaan dengan proses aklimatisasi dengan mengalirkan air efluen hasil olahan reaktor HUASB terhadap air buangan industri tahu pada konsentrasi 50 % sampai dengan konsentrasi efluen hasil dari reaktor HUASB terhadap variasi HRT 24, 12, 6 jam. Setelah proses aklimatisasi stabil maka proses *running* dioperasikan terhadap kondisi yang optimal. *Sampling* sebagai umpan influen diperoleh dari pengolahan tahap pertama proses anaerob limbah cair industri tahu, yaitu efluen reaktor *hybrid upflow anaerob sludge blanket* (HUASB) [1], [5], [19], [15], [20], mengandung NH_3-N 215 mg/L, dan COD 915 mg/L. Pengamatan langsung terhadap objek penelitian (proses nitrifikasi), kemudian analisis limbah cair tahu dari kinerja reaktor nitrifikasi terhadap parameter COD, NH_3-N , NO_3 , pH pada variasi HRT dan konsentrasi substrat.



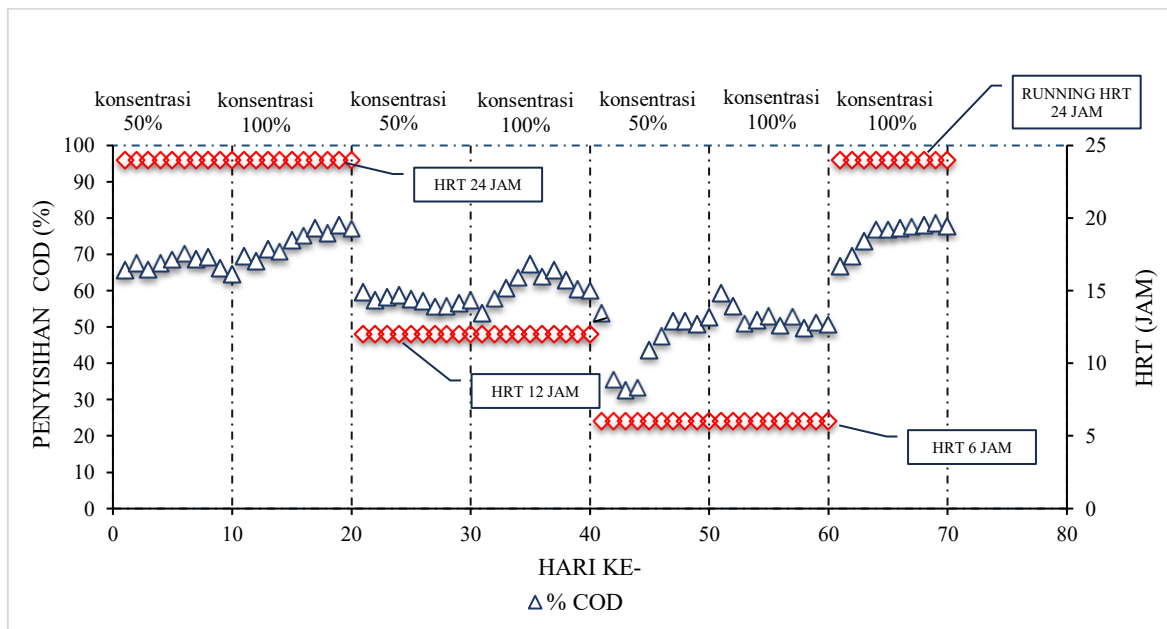
Gambar 1. Rangkaian reaktor nitrifikasi biofilter [15], [21]

3. Hasil

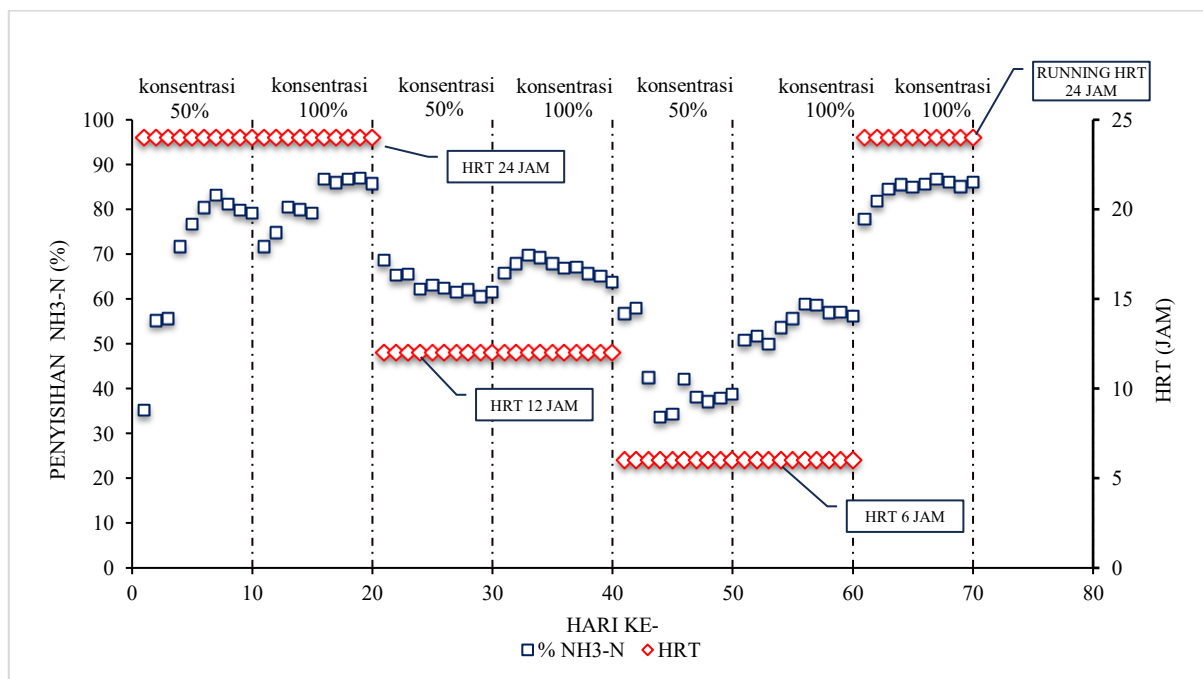
Penelitian ini diawali dengan mengkondisikan reaktor agar teraerasi dengan sangat baik dan umpan dimasukkan ke reaktor. Sumber mikroorganisme diumpun langsung ke dalam reaktor sampai volume 1000 ml selama beberapa hari secara kontinyu sampai terbentuk lapisan lendir atau *biofilm* di dalam reaktor. Kemudian substrat tahu diumpunkan yang diawali konsentrasi 50%, substrat 107,5 mg/L sebagai $\text{NH}_3\text{-N}$ dan 458,5 mg/L sebagai COD. Umpan proses aklimatisasi dilakukan hingga konsentrasi substrat 100%, 215 mg/L sebagai $\text{NH}_3\text{-N}$ dan 915 mg/L sebagai COD. Pada Gambar 2 menunjukkan profil *seeding* dan aklimatisasi berwarna keruh coklat-kuning pekat dan proses nitrifikasi berjalan baik sedangkan pada proses aklimatisasi 100% substrat *biofilm* sudah semakin tebal yang menunjukkan pertumbuhan mikroorganisme semakin banyak.

Gambar 2. Profil *seeding* dan aklimatisasi pada proses nitrifikasi

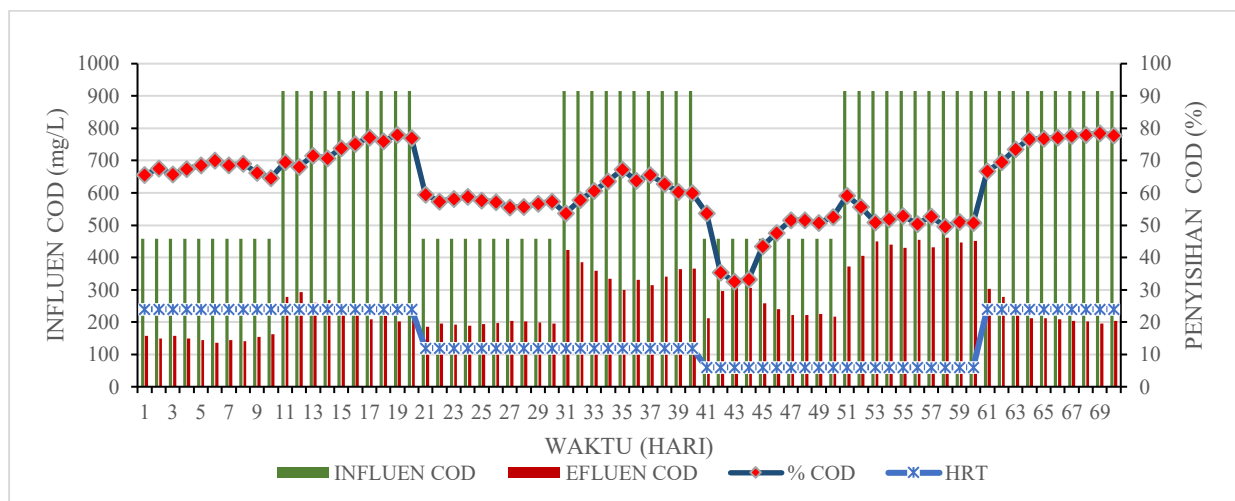
Gambar 3 menunjukkan profil penyisihan konsentrasi substrat 50%, yaitu 458,5 mg/L COD pada proses aklimatisasi, efisiensi penyisihan COD pada HRT 24 jam dan penyisihan COD tertinggi 70,15 % pada pH 6,8, proses aklimatisasi dilanjutkan pada konsentrasi substrat 100% yaitu 915 mg/L dengan penyisihan tertinggi COD 77,95% pada HRT 24 jam. Penyisihan COD tertinggi terjadi pada hari ke 6 konsentrasi substrat 50% sedangkan untuk penyisihan COD tertinggi konsentrasi 100% terjadi pada hari ke 19 pada proses aklimatisasi. Kemudian dilanjutkan proses *running* pada HRT 24 jam dan konsentrasi 100%. Gambar 3 menunjukkan pengaruh HRT terhadap konsentrasi influen dan efluen pada penyisihan COD. Pada proses nitrifikasi menggunakan sistem aerob *biofilter* menggunakan *bio ball* sebagai media pertumbuhan menunjukkan tren meningkat dengan bertambahnya konsentrasi ketika perlakuan pada HRT 24 jam, laju penyisihan COD tertinggi 77. 95% pada hari ke 19. Namun ketika HRT diturunkan menjadi 12 jam dan 6 jam pada perlakuan konsentrasi substrat 50% dan 100% laju efisiensi penyisihan cenderung rendah dibawah 70% terhadap penyisihan COD. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan mikroorganisme untuk beradaptasi terhadap substrat berlangsung optimal pada HRT 24 jam.



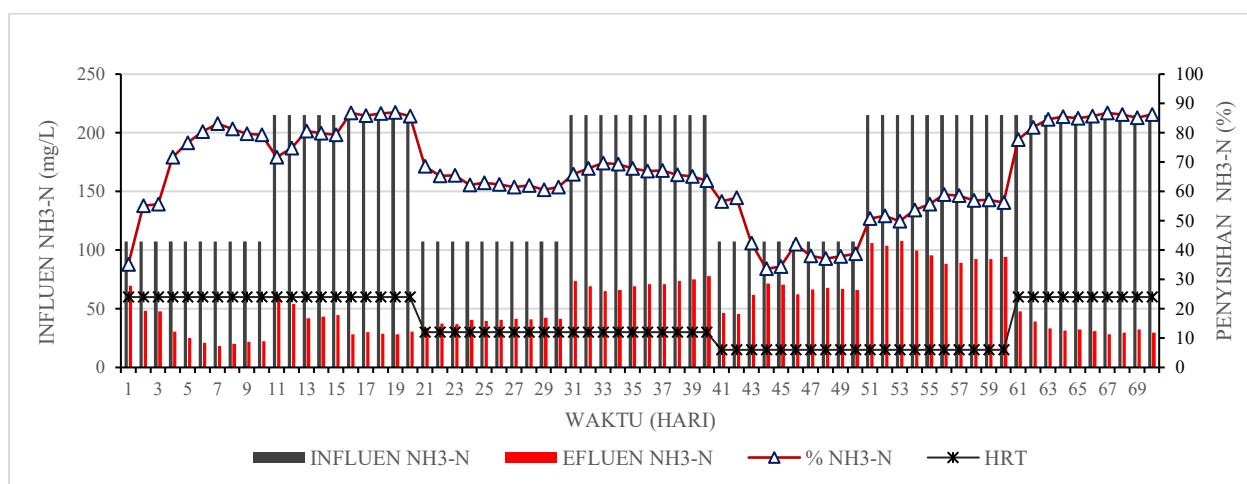
Gambar 3. Profil penyisihan COD pada influen substrat

Gambar 4. Profil penyisihan $\text{NH}_3\text{-N}$ pada influen substrat

Gambar 4 menunjukkan profil penyisihan konsentrasi substrat 50%, yaitu 107,5 mg/L $\text{NH}_3\text{-N}$ proses aklimatisasi pada efisiensi penyisihan $\text{NH}_3\text{-N}$ di HRT 24 jam dan penyisihan $\text{NH}_3\text{-N}$ tertinggi 57,14 % pada pH 6,8, proses aklimatisasi dilanjutkan pada konsentrasi substrat 100% yaitu 215 mg/L dengan penyisihan tertinggi $\text{NH}_3\text{-N}$ 86,95%, HRT 24 jam pada pH 7,3. Profil grafik penyisihan terhadap konsentrasi 50% dan 100% secara menyeluruh dapat dilihat pada Gambar 4 Penyisihan amoniak tertinggi terjadi pada hari ke 7 konsentrasi substrat 50% sedangkan untuk penyisihan amoniak tertinggi konsentrasi 100% terjadi hari ke 19 pada proses aklimatisasi. Oleh karena aklimatisasi menghasilkan kondisi yang optimal maka proses *running* dilakukan pada HRT 24 jam dan konsentrasi 100%. Efisiensi penyisihan $\text{NH}_3\text{-N}$ optimal tercapai ketika terjadi proses penghilangan amonia nitrogen, yaitu substrat diubah menjadi biomassa akibat oksidasi sistem aerasi terhadap amonia nitrogen.



Gambar 5. Efisiensi penyisihan COD pada variasi HRT dan influen COD selama proses aklimatisasi



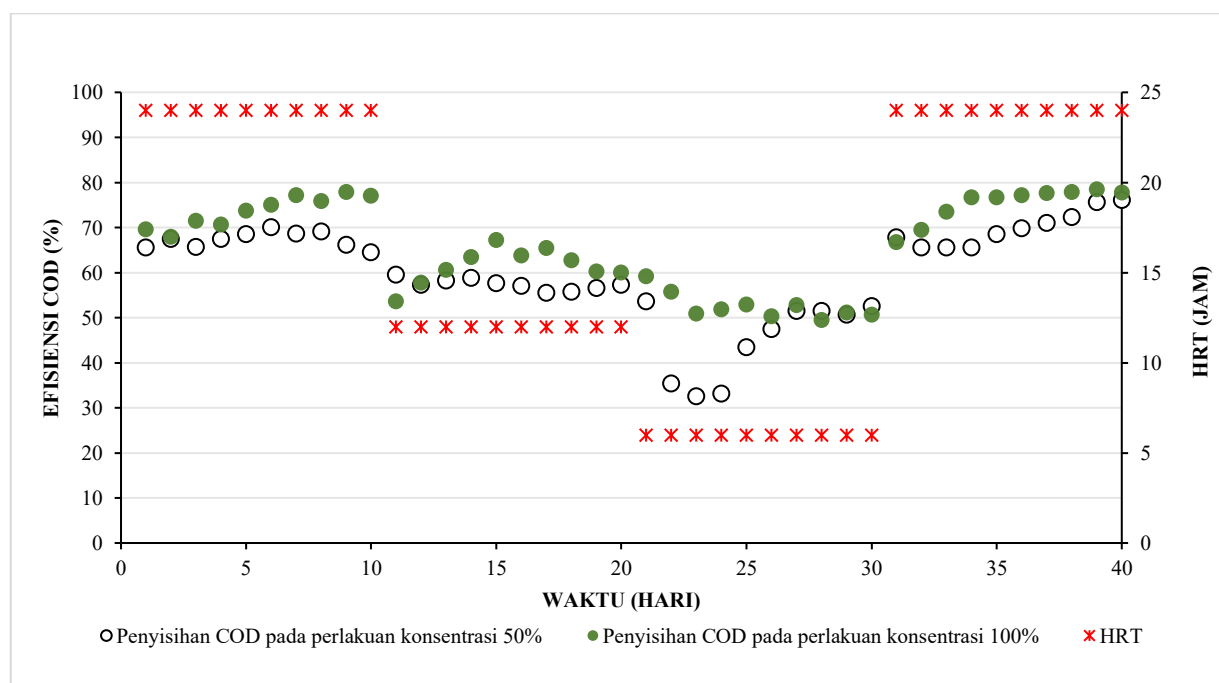
Gambar 6. Efisiensi penyisihan $\text{NH}_3\text{-N}$ pada variasi HRT dan influen $\text{NH}_3\text{-N}$ selama proses aklimatisasi

Pengaruh HRT terhadap konsentrasi influen dan efluen pada penyisihan $\text{NH}_3\text{-N}$ dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6. Profil grafik penyisihan COD konsentrasi 50% dan 100% terhadap pengaruh variasi HRT 24, 12, dan 6 jam dapat dilihat pada Gambar 5, dimana penyisihan COD tertinggi terjadi pada hari ke-6 konsentrasi substrat 50% sedangkan untuk penyisihan COD tertinggi konsentrasi 100% terjadi pada hari ke-19 pada HRT 24 jam proses aklimatisasi. Kemudian dilanjutkan proses *running* pada HRT 24 jam dan konsentrasi 100%. Penyisihan konsentrasi substrat 50%, yaitu 458,5 mg/L COD pada proses aklimatisasi dimana efisiensi penyisihan COD pada HRT 24 jam dan penyisihan COD tertinggi 70,15 % pH 6,8, konsentrasi substrat 100% yaitu 915 mg/L dengan penyisihan tertinggi COD 77,95% pada HRT 24 jam. Ketika diturunkan HRT 12 jam pada hari ke-21, penyisihan COD turun menjadi 59,57% dan penyisihan COD tertinggi 67,25% pada hari ke-35. Penurunan juga terjadi pada saat HRT 6 jam di hari ke 41, dimana penyisihan COD sebesar 53,67% dan tertinggi 59,25 pada hari ke-51.

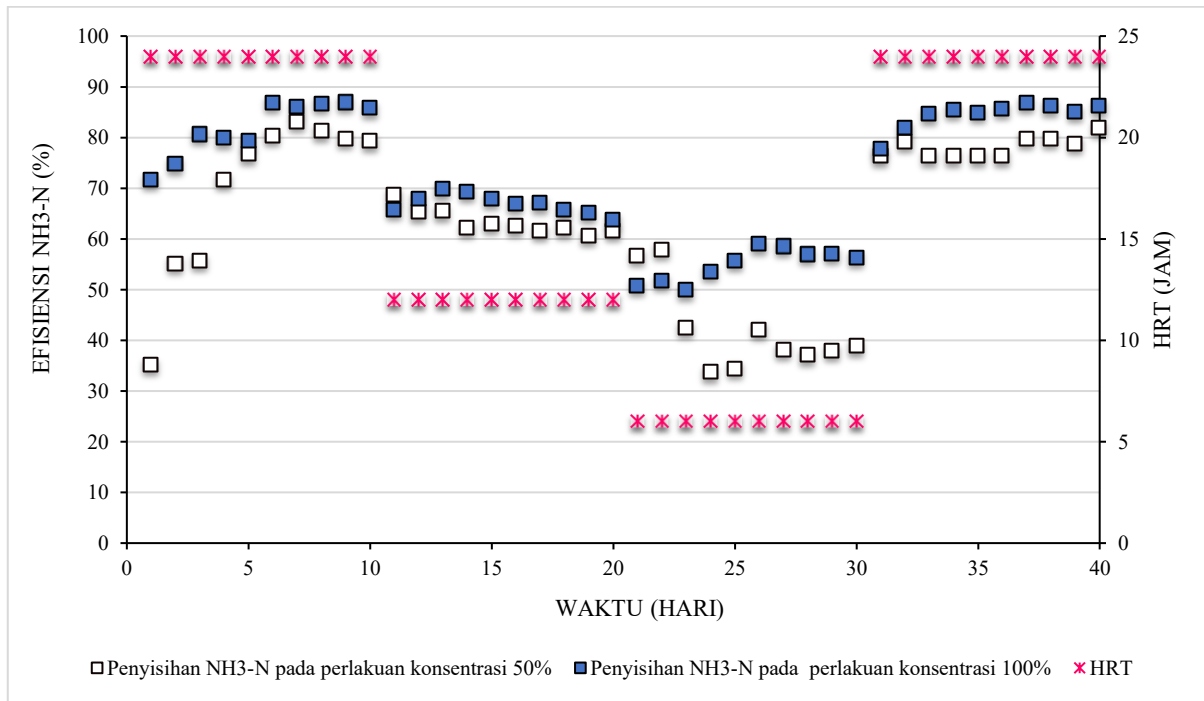
Gambar 6 menunjukkan laju efisiensi penyisihan $\text{NH}_3\text{-N}$ terhadap konsentrasi substrat. Pada proses nitrifikasi menunjukkan *tren* meningkat dengan bertambahnya konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$, ketika perlakuan pada HRT 24 jam. Namun ketika HRT diturunkan menjadi 12 jam dan 6 jam pada perlakuan konsentrasi substrat 50% dan 100% laju efisiensi penyisihan $\text{NH}_3\text{-N}$. Pada Gambar 6, ketika HRT 24 jam, konsentrasi substrat 50% di hari ke-7 penyisihan $\text{NH}_3\text{-N}$ tertinggi yaitu 83,15% dan ketika konsentrasi dinaikkan 100%, penyisihan $\text{NH}_3\text{-N}$ tertinggi mencapai 86,95%. Namun, ketika HRT diturunkan 12 jam penyisihan tertinggi 68,55% pada konsentrasi 50% di hari ke-21 dan 69,75 % pada konsentrasi 100% di hari ke-33. Begitu juga ketika HRT diturunkan 6 jam, pada konsentrasi 50% penyisihan $\text{NH}_3\text{-N}$ tertinggi 57,84% di hari ke-42, dan 58,90% pada

konsentrasi substrat 100% penyisihan $\text{NH}_3\text{-N}$ di hari ke-56. Kemampuan mikroorganisme beradaptasi dengan substrat berlangsung optimal pada HRT 24 jam dan konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$ ± 215 mg/L.

Penyisihan $\text{NH}_3\text{-N}$ dan COD dipengaruhi oleh konsentrasi substrat pada rasio C/N, hal ini ditunjukkan juga pada Gambar 7 dan 8 sebagai efisiensi penyisihan $\text{NH}_3\text{-N}$ dan COD terhadap konsentrasi 50% dan 100% substrat. Rasio C/N yang tinggi menghambat pertumbuhan *nitrifier*, terutama bakteri pengoksidasi nitrit [22], dan rasio C/N yang rendah bermanfaat untuk akumulasi nitrit. Tingkat pemuatan karbon organik lebih tinggi untuk mencegah nitrifikasi parsial persaingan antara bakteri autotrofik dan heterotrofik [23]. pH lingkungan juga mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap aktivitas kehidupan mikroorganisme sehingga perubahan pH berdampak kepada proses nitrifikasi. Peran utama pH adalah menyebabkan perubahan muatan sel mikroorganisme, sehingga mempengaruhi penyerapan nutrisi oleh mikroorganisme dan mempengaruhi aktivitas enzim [24]. Komunitas mikroba dapat terjadi penghambatan asam dan alkali pada pH lima dan pH sembilan. Strain tersebut mencapai efisiensi penghilangan amonia tertinggi sebesar 86,95% pada pH 6,8. Secara umum, sebagian besar bakteri nitrifikasi-aerobik heterotrofik lebih menyukai lingkungan netral atau lingkungan sedikit basa, dan kisaran optimal adalah pH 6-9 [25]. Konsentrasi substrat mempengaruhi ratio C/N dimana rasio C/N yang tinggi menghambat pertumbuhan *nitrifier*, terutama bakteri pengoksidasi nitrit [22], dan rasio C/N yang rendah bermanfaat untuk akumulasi nitrit. pH lingkungan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap aktivitas kehidupan mikroorganisme sehingga perubahan pH berdampak kepada proses nitrifikasi. Peran utama pH adalah menyebabkan perubahan muatan sel mikroorganisme, sehingga mempengaruhi penyerapan nutrisi oleh mikroorganisme dan mempengaruhi aktivitas enzim [24]. Komunitas mikroba dapat terjadi penghambatan asam dan alkali pada pH. Efisiensi penghilangan amonia tertinggi sebesar 86,95% pada pH 7.3. Proses nitrifikasi mengkonsumsi oksigen secara signifikan, sehingga konsentrasi oksigen terlarut (DO) merupakan faktor kunci untuk menjaga kestabilan proses nitrifikasi dan pH turut serta mendukung kondisi kestabilan proses nitrifikasi [18]. Oleh karena itu dibutuhkan konsentrasi DO yang tinggi pada proses *activated sludge* untuk memelihara konsentrasi DO dan laju nitrifikasi agar merata. Efluen berwarna coklat kuning pekat yang dialirkan ke *klarifier*, hal ini menunjukkan proses nitrifikasi berlangsung dalam jumlah presentase tinggi. Gambar 9 menunjukkan konsentrasi $\text{NO}_3\text{-N}$ yang dihasilkan 103,25 mg/L pada HRT 24 jam, 85,55 mg/L pada HRT 12 jam dan 67,25 mg/L pada HRT 6 jam dari influen 55,06 mg/L.

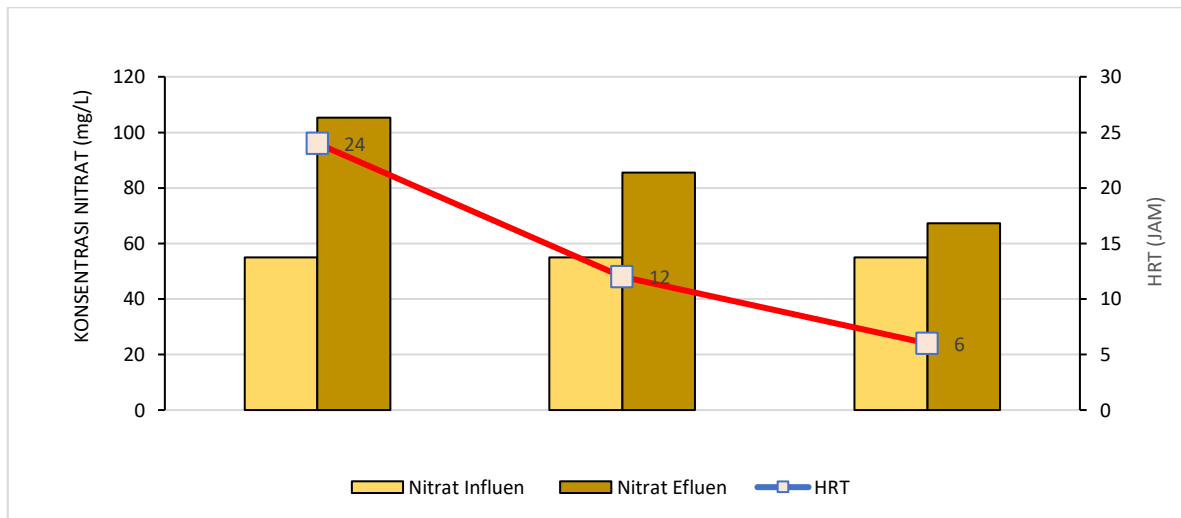


Gambar 7. Profil laju efisiensi penyisihan COD terhadap konsentrasi substrat



Gambar 8. Profil laju efisiensi penyisihan $\text{NH}_3\text{-N}$ terhadap konsentrasi substrat

Konsentrasi $\text{NO}_3\text{-N}$ yang dihasilkan 103,25 mg/L pada HRT 24 jam, 85,55 mg/L pada HRT 12 jam dan 67,25 mg/L pada HRT 6 jam dari influen 55,06 mg/L. Pada konsentrasi DO rendah ($< 0,5$ mg/L) laju nitrifikasi akan terhambat dimana DO yang rendah mempengaruhi jumlah *nitrobacter* lebih tinggi dari nitrosomonas, sehingga terjadi nitrifikasi yang tidak sempurna yang akan terjadi peningkatan konsentrasi $\text{NO}_2\text{-N}$ pada effluen [17], [26]. Nitrifikasi rentan terhadap pH [17], [18], [22], [27] dan secara signifikan laju penyisihan menurun pada pH dibawah 6,8 dan pH optimal pada proses nitrifikasi kisaran 7,3-8. Manipulasi yang tepat terhadap parameter pengoperasian seperti pH dan DO sangat mempengaruhi konsentrasi penyisihan sehingga dapat membantu akumulasi nitrit di dalam sistem. Hasil proses nitrifikasi ini menghasilkan $\text{NH}_3\text{-N}$ 33,48 mg/L dan nitrat tertinggi yaitu 103,25 mg/L.



Gambar 9. Produksi nitrat terhadap variasi HRT

4. Kesimpulan

Laju efisiensi penyisihan COD, $\text{NH}_3\text{-N}$ dan nitrat yang dihasilkan pada reaktor nitrifikasi biofilter menunjukkan penyisihan meningkat signifikan. Biakan mikroorganisme menggunakan biakan sistem terlekat

biofilter berpengaruh pada tumbuh kembang mikroorganisme sebagai pengendali kinerja selama proses pengolahan. Proses nitrifikasi dioperasikan pada kondisi khusus yaitu: pH 6-8,5, DO>3 mg/L. Proses seeding dilakukan bersamaan proses aklimatisasi dengan mengalirkan substrat secara terus menerus terhadap variasi HRT 24, 12 dan 6 jam.–Konsentrasi substrat mempengaruhi rasio C/N, ketika rasio C/N tinggi maka menghambat pertumbuhan *nitrifier*, terutama bakteri pengoksidasi nitrit, sedangkan rasio C/N yang rendah bermanfaat untuk akumulasi nitrit. Efisiensi laju penyisihan tertinggi COD 77,95% dan amonia 86,95% pada pH 7,3. Konsentrasi NO₃-N yang dihasilkan 103,25 mg/L pada HRT 24 jam, 85,55 mg/L pada HRT 12 jam dan 67,25 mg/L pada HRT 6 jam dari influen 55,06 mg/L. Proses nitrifikasi menghasilkan NH₃-N 33,48 mg/L dan nitrat yang tinggi sehingga harus dilakukan pengolahan lanjut secara denitrifikasi untuk menyisihkan kandungan nitrogen. Saran penelitian pengembangan selanjutnya perlu secara simultan dilakukan proses nitrifikasi-denitrifikasi untuk penyisihan nitrogen,

5. Ucapan Terima Kasih

Proyek penelitian ini adalah Pelaksanaan Penelitian Talenta Reputasi Universitas Sumatera Utara (USU). Oleh karena itu, memang demikian penting bagi penulis untuk mengucapkan terima kasih atas dukungan finansial disediakan oleh Universitas Sumatera Utara (USU), Medan, Indonesia.

6. Konflik Kepentingan

“Penerbitan artikel ini dipastikan semua penulis tidak mempunyai konflik kepentingan (*conflict of interest*).”

Daftar Pustaka

- [1] N. Yanqoritha, M. Turmuzi, I. Irvan, F. Fatimah, and D. Derlini, “The effect of organic loading rate variation on digestion of tofu wastewater using PVC rings as growth media in a hybrid UASB reactor,” *Orient. J. Chem.*, vol. 34, no. 3, pp. 1653–1657, 2018.
- [2] I. Effendy, I. Putri, L. Lubis, F. Kesehatan, M. Institut, and K. Helvetia, “Manajemen tata kelola sampah di perkotaan (studi kasus di Kota Medan),” *Reg. Dev. Ind. Heal. Sci. Technol. Art Life*, no. 2620–6048, pp. 152–160, 2018.
- [3] A. J. Effendi, R. R. Sandi, and R. R. Effendi, A. J., & Sandi, “Removal of COD and NH₃ from produced water using modified horizontal subsurface flow constructed wetlands (HSCW),” *Reaktor*, vol. 18, no. 3, pp. 166–170, 2018.
- [4] K. Anh, N.V., Nga, P.T., Thang, N.H., Tin, N.T., Ha, T.D., Nhue, T.H., Bach, L.T., Furukawa, “Nitrogen ammonia removal from ground water by nitrification – denitrification process with a novel acryl biofilm carrier material,” *J. Environ. Prot. (Irvine,. Calif)*, pp. 157–170, 2006.
- [5] F. Batubara, M. Turmuzi, I. Irvan, and N. Yanqoritha, “Variations of Organic loading rate on tofu wastewater degradation using upflow anaerobic sludge blanket reactor by modified stover-kincannon model,” *Int. J. Eng.*, vol. 36, no. 3, pp. 490–496, 2023.
- [6] N. Yanqoritha, M. Turmuzi, and Derlini, “Acclimatization process of tofu wastewater on hybrid upflow anaerobic sludge blanket reactor using polyvinyl chloride rings as a growth medium,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 1840, 2017.
- [7] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia, “Baku Mutu Air Limbah, *Berita Negara*,” no. 1815, 2014.
- [8] J. Sousa, K. Santos, I. Henrique, D. Brasil, and E. Santos, “Anaerobic digestion and the denitrification in UASB reactor,” *J. Urban Environ. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 63–67, Dec. 2008.
- [9] R. M. Maier, “Microorganisms and organic pollutants,” in *Environmental Microbiology*, 2015, pp. 377–413.
- [10] F. F., Liu, Z.-G., Song, Y.-X., Jiang, C.-K., C. hai, X.-L., Tang, C.-J., Chai, “The application of aged refuse in nitrification biofilter: Process performance and characterization,” *Sci. Total Environ.*, vol. 657, pp. 1227–1236, 2019.
- [11] L. Y. Zhang, Xin, Wang, Miao, Hu, Pengfei, “Effect of hydraulic retention time (HRT) on the biodegradation of trichloroethylene wastewater and anaerobic bacterial community in the UASB reactor,” *Appl. Microbiol. and Biotechnol*, vol. 99, no. 4, p. 19, 2015.
- [12] N. Yanqoritha, F. Piska, Betri Natasya Br Ginting, “Using biofilter aerobic reactor for optimizing the hydraulic loading rate in nitrification process for tofu-manufacturing wastewater management,” *Adv. Environ. Technol.*, vol. 10, no. 4, pp. 326–338, 2024.
- [13] S.K. Tomar, S. K. Padhi, P. K. Dikshit, S. Yadav, “Effect of hydraulic retention time on biological nutrients removal in an anaerobic membrane bioreactor treating low-strength drain wastewater,” *Bioresour. Technol. Reports*, vol. 24, 2023.

- [14] N. K. Yea, S. R. S. Abdullah, N. I. Ismail, “Effect of HRTs on COD and nutrient removal in sequencing batch reactor (SBR) process,” *J. Biochem. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 10, no. SP2, pp. 29–39, 2022.
- [15] N. Yanqoritha, Kuswandi, and S. Sulhatun, “Evaluation of Kinetic Parameters of Nitrification Process in Biofilter System to Effluent Liquid Waste of Tofu Industry,” *J. Penelit. Pendidik. IPA*, vol. 8, no. 6, pp. 2744–2751, Dec. 2022.
- [16] Bacta-Pur, “Nitrification/denitrification in wastewater treatment,” *Nat. Solut.*, no. 12, pp. 1–4, 2012.
- [17] M. Kutz, *Handbook of Environmental Engineering*. 2018.
- [18] S. Okabe, Y. Aoi, H. Satoh, and Y. Suwa, “Nitrification in Wastewater Treatment,” *Nitrification*, pp. 405–433, 2014.
- [19] A. Afrizal, F. Yandari, S. Kurniawan, N. Yanqoritha, F. Razi, and Munajat, “Biogas production from tofu wastewater substrate using HUASB reactors with addition of trace metal,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 801, no. 1, 2020.
- [20] N. Yanqoritha, *Kinerja Proses Reaktor Nitrifikasi Biofilter*, Pertama. PT Amazing Life Publikasi, 2021.
- [21] N. Yanqoritha, F. Piska, B. N.B. Ginting, and N. Mitha, “Using biofilter aerobic reactor for optimizing the hydraulic loading rate in nitrification process for tofu-manufacturing wastewater management,” *Adv. Environ. Technol.*, vol. 10, no. 4, pp. 326–338, 2024.
- [22] S. Ge, S. Wang, X. Yang, S. Qiu, B. Li, and Y. Peng, “Detection of nitrifiers and evaluation of partial nitrification for wastewater treatment: A review,” *Chemosphere*, vol. 140, no. March, pp. 85–98, 2015.
- [23] M. C. De Prá, A. Kunz, M. Bortoli, T. Perondi, and A. Chini, “Simultaneous removal of TOC and TSS in swine wastewater using the partial nitrification process,” *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, vol. 87, no. 12, pp. 1641–1647, 2012.
- [24] Y. X. Ren, L. Yang, and X. Liang, “The characteristics of a novel heterotrophic nitrifying and aerobic denitrifying bacterium, *Acinetobacter junii* YB,” *Bioresour. Technol.*, vol. 171, pp. 1–9, 2014.
- [25] Q. L. Zhang, Y. Liu, G. M. Ai, L. L. Miao, H. Y. Zheng, and Z. P. Liu, “The characteristics of a novel heterotrophic nitrification-aerobic denitrification bacterium, *Bacillus methylotrophicus* strain L7,” *Bioresour. Technol.*, vol. 108, pp. 35–44, 2012.
- [26] G. Tchobanoglous; F. I. Burton; H. D. Stensel, *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. McGraw Hill Series Companies, Inc., 2003.
- [27] D. Henze, M., Van Loosdrecht, M.C.M., Ekama, G.A., Brdjanovic, *Biological Wastewater Treatment: Principles, Modelling and Design*. IWA Publishing, London, UK, 2008.