

Analisis Komposisi Sedimen di Unit Pengolahan Limbah Kota Padang

Sodaya Umami¹, Zulkarnaini^{2*}, Shinta Indah³

¹Program Magister Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang

^{2,3}Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang

*Koresponden email: zulkarnaini@eng.unand.ac.id

Diterima: 27 Maret 2025

Disetujui: 8 April 2025

Abstract

The purpose of this study is to identify factors that affect environmental parameters in sediments and their impact on sewage treatment plant in Padang city in order to become a basic scientific reference in effective and sustainable water resources management. The measurements were carried out at 5 artificial system locations, namely the Rubber Factory Wastewater Treatment Plant (WWTP), Tofu Factory wastewater drainage, WWTP of Teaching Hospital Andalas University, Fecal Sludge Treatment Plant, and Leachate Treatment Plant at the Air Dingin of Landfill in Padang City, West Sumatra. The measured water parameters are pH, temperature, and salinity, while the measured sediments are nitrite and nitrate. Analysis of environmental parameters in the waters were temperature (30 - 34°C), pH (5.5 - 6.8), and salinity (0 ± 0.4 ppt). The results obtained in the sediment were nitrite (0.63 - 153.58 mg/L), and nitrate (19.28 - 50.01mg/L). Factors that affect water and sediment parameters are biological activity and anthropogenic contaminants. One of the causes of high concentrations of environmental parameters in sediments is the ability of sediments to accumulate and absorb particles and chemicals.

Keywords: *environmental parameter, sediment, sewage treatment plant*

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini yaitu mengidentifikasi faktor yang memengaruhi parameter lingkungan pada sedimen dan dampaknya terhadap unit pengolahan limbah di kota Padang agar dapat menjadi acuan dasar ilmiah dalam pengelolaan sumber daya air yang efektif dan berkelanjutan. Pengukuran tersebut dilakukan pada 5 lokasi sistem buatan yaitu Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Pabrik Karet, saluran pembuangan air limbah Pabrik Tahu, IPAL Rumah Sakit Pendidikan (RSP) Universitas Andalas, Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT), serta Instalasi Pengolahan Lindi (IPL) pada Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Air Dingin di Kota Padang, Sumatra Barat. Parameter perairan yang diukur yaitu suhu, pH, dan salinitas, sedangkan pada sedimen yang diukur adalah nitrit, dan nitrat. Analisis parameter lingkungan pada perairan yaitu suhu (30 - 34°C), pH (5,5 - 6,8), dan Salinitas (0 ± 0,4 ppt). Hasil yang diperoleh pada sedimen adalah nitrit (0,63 - 153,58 mg/L), dan nitrat (19,28 - 50,01 mg/L). Faktor-faktor yang memengaruhi parameter air serta sedimen yaitu aktivitas biologis dan kontaminan antropogenik. Salah satu penyebab tingginya konsentrasi parameter lingkungan pada sedimen yaitu kemampuan sedimen dalam mengakumulasi dan menyerap partikel serta bahan kimia.

Kata Kunci: *parameter lingkungan, sedimen, unit pengolahan limbah*

1. Pendahuluan

Lingkungan merupakan segala sesuatu yang ada di bumi, meliputi air, tanah, udara dan seluruh makhluk hidup di dalamnya, serta adanya hubungan timbal balik antar komponen tersebut. Lingkungan dapat terbentuk secara alami atau sengaja dibuat oleh manusia yang disebut dengan sistem buatan seperti Unit Pengolahan Limbah (Bird et al., 2018). Kedua jenis lingkungan ini, sama-sama memiliki peranan yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Terdapat beberapa faktor lingkungan seperti suhu, salinitas, pH, kecerahan, DO, dan nutrisi dapat berpengaruh terhadap kualitas air serta kondisi ekologi ekosistem tersebut. Selain itu, faktor lingkungan seperti parameter fisika dan kimia, eksistensi organisme di suatu lingkungan juga dapat dijadikan sebagai indikator terhadap pencemaran (Jhuma, 2016). Sedimen yang merupakan endapan partikel di dasar badan air juga mengandung informasi penting tentang kualitas lingkungan, meliputi kandungan logam berat, bahan organik, dan partikel tersuspensi (Rohyani, 2021).

Limbah menjadi salah satu pencemaran lingkungan yang sering terjadi saat ini dapat berasal dari beragam sumber seperti rumah tangga, industri serta pertanian. Jika pengelolaannya tidak efektif, limbah dapat menyebabkan dampak serius, termasuk pencemaran lingkungan, kerusakan ekosistem serta

penyebaran penyakit. Pencemaran lingkungan yang berasal dari limbah baik industri maupun rumah tangga dapat merusak kualitas air serta tanah. Dampak yang dihasilkan bersifat jangka pendek maupun jangka panjang terhadap organisme hidup serta ekosistemnya. Keterbatasan sumber daya dalam pengelolaan limbah sejalan dengan meningkatnya pertumbuhan populasi serta aktivitas manusia. Paparan limbah pada ekosistem yang mengalami penurunan keanekaragaman hayati menyebabkan perubahan perilaku serta kelangsungan hidup organisme hidup (Pudjowati et al., 2024).

Pengelolaan limbah yang berkelanjutan diperlukan untuk mengatasi hal ini. Kota Padang menjadi salah satu lokasi yang menerapkannya, khususnya pada area padat penduduk serta industri dengan aktivitas biologis dan kontaminan antropogenik tinggi. Sasaran utama pada penelitian ini yaitu pada lokasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Pabrik Karet, saluran pembuangan air limbah Pabrik Tahu, IPAL Rumah Sakit Pendidikan (RSP) Universitas Andalas, Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT), serta Instalasi Pengolahan Lindi (IPL) Pada Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Air Dingin yang berada di Kota Padang, Sumatera Barat.

Aktivitas manusia serta industri memiliki dampak yang signifikan terhadap kualitas air dan sedimen pada ekosistem buatan (Almufid & Rully, 2020; Fitriani et al., 2021; Supardiono et al., 2023). Pembuangan limbah domestik dan industri yang tidak tepat dapat menyebabkan pencemaran yang memengaruhi parameter fisiko-kimia air dan sedimen (Supardiono dkk., 2023a). Eutrofikasi, pencemaran logam berat, dan peningkatan bahan organik menjadi masalah lingkungan yang sering disebabkan oleh manusia (Pratiwi et al., 2023).

Penelitian ini dapat memberikan informasi yang diperlukan dalam pengelolaan limbah berkelanjutan dan mitigasi dampak negatif dari aktivitas manusia dan kontaminan sekitar. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji komposisi parameter lingkungan dalam air dan sedimen di unit pengolahan limbah, Padang, Sumatera Barat serta mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi perubahan parameter lingkungan tersebut dan mengevaluasi dampaknya terhadap ekosistem buatan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah untuk pengelolaan limbah berkelanjutan yang efektif di Kota Padang, Sumatera Barat.

Oleh karena itu, penelitian ini merupakan langkah penting dalam upaya konservasi dan pengelolaan ekosistem buatan di Kota Padang, Sumatera Barat. Upaya ini ditujukan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan industri dalam pengelolaan limbah berkelanjutan yang efektif.

2. Metode Penelitian

Penelitian tentang komposisi parameter lingkungan dalam air dan sedimen pada unit pengolahan limbah di Kota Padang, Sumatera Barat (**Gambar 1**) melibatkan beberapa tahapan metodologi yang sistematis. Metode tersebut meliputi perancangan penelitian, pengumpulan data, analisis laboratorium, serta analisis data dan interpretasi hasil.

Parameter yang diukur dalam air (suhu, pH, dan salinitas) dilakukan secara langsung di badan air, sedangkan pengukuran parameter sedimen (nitrat dan nitrit) dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Andalas.



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel
Sumber: Google Earth 2024

Titik pengambilan sampel dipilih secara strategis pada Unit Pengolahan Limbah di Kota Padang berdasarkan pertimbangan daerah dengan kepadatan penduduk tinggi serta daerah yang diperkirakan menerima sejumlah besar polutan antropogenik.

Analisis Fisikokimia

Sebelum dilakukan pengujian parameter kimia, sampel sedimen diekstrak berdasarkan SNI 4819:2013 agar dapat diuji dengan standar pengujian air. Selanjutnya sedimen yang sudah diekstrak dianalisis kandungan nitrit dan nitrat menggunakan metode spektrofotometri, yaitu dengan memanfaatkan serapan sinar monokromatis oleh suatu lajur larutan berwarna pada panjang gelombang tertentu dengan alat spektrofotometri UV-VIS. Untuk pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan alat pH meter. Penjelasan tentang metoda analisis yang dilakukan dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Metode Analisis

Parameter	Metode	Alat	Acuan
pH	Elektrometrik	AZ 86031 Water Quality Meter	APHA 4500 – H ⁺
Suhu	Termometri	Termometer	APHA 4500 – H ⁺
Salinitas	Saliniti	Salinity meter	Hanna HI-98319
Nitrit	Spektrofotometri	Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu 1800)	SNI 06-6989.9-2004
Nitrat	Spektrofotometri Skrining Ultra Violet	Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu 1800)	APHA 2017

3. Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Parameter Fisikokimia Sampel

Hasil analisis karakteristik parameter fisikokimia pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 2**. Berdasarkan **Tabel 2**, hasil pengukuran pH air pada lokasi pengambilan sampel berkisar antara 5,5 – 6,8. pH optimum enzim yang mengubah N (hidroksilamina oksidoreduktase dan amonia monooxygenase) berkisar antara 7,0 – 8,0 (Blum et al, 2018). Salah satu faktor lingkungan penting dalam sedimen yaitu pH. pH yang rendah dapat mengurangi ketersediaan amonia, potensi efek toksik dari amonia bebas (Gubry-Rangin et al., 2011) dan nitrit yang dapat meningkatkan efek toksik asam nitrit (De Boer & Kowalchuk, 2001). Mikroorganisme yang diperoleh pada kisaran pH tertentu mungkin sesuai dengan kemampuan adaptasinya terhadap tanah. Namun, lingkungan tertentu (misalnya, suhu tinggi, kontaminasi logam berat, dan kondisi halofilik atau oligotrofik) mungkin terdapat mikroorganisme lain yang tidak terdeteksi. Selain itu, kemampuan adaptasi mikroorganisme pengoksidasi amonia terhadap kondisi tanah bervariasi tergantung pada faktor-faktor seperti pH, kadar air, konsentrasi substrat, dan suhu (Shen et al., 2008; Morimoto et al., 2011; Stevens et al., 2022).

Tabel 2. Analisis Karakteristik Parameter Fisikomia Air Limbah di Lokasi Pengambilan Sampel

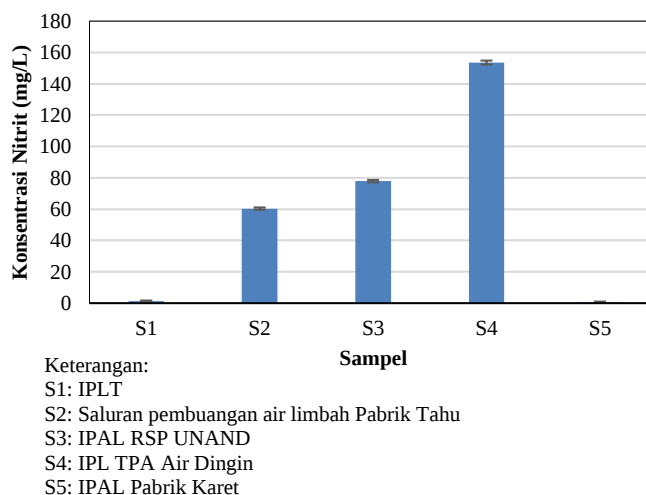
No.	Lokasi Sampling	pH Air	Suhu (°C)	Salinitas (ppt)	Warna Air	Cuaca	Titik Koordinat
1.	IPLT Nanggalo	6,8	34	0,2	Hitam	Cerah	0°53'22" S 100°22'27" T
2.	IPAL Pabrik Karet	6,7	30	0	Keruh	Cerah	0°57'55" S 100°23'11" T
3.	IPAL RSP UNAND	6,5	30,4	0,4	Keruh	Cerah	0°54'55" S 100°27'29" T
4.	Saluran Pembuangan Pabrik Tahu	6,6	32,1	0	Hitam	Cerah	0°50'9" S 100°19'42" T
5.	TPA Air Dingin	5,5	30,5	0	Hitam	Cerah	0°49'25"S 100°22'53" T

Penelitian ini menunjukkan salinitas yang terdeteksi pada IPLT dan IPAL RSP UNAND dengan nilai sebesar 0,2 ppt dan 0,4 ppt. Potensial tentang efek salinitas berhubungan dengan amonia yang menyebabkan afinitas mikroorganisme terhadap amonia menurun dengan penambahan konsentrasi garam. Proses oksidasi nitrit lebih toleran terhadap garam daripada proses oksidasi amonia, namun penyebabnya belum ditemukan serta perlu dipelajari lebih lanjut (Daims et al., (2015).

Pada suhu, nilai rentang pada kelima lokasi sampel yaitu berkisar antara 30°C – 34°C. suhu yang tertinggi berada pada lokasi IPLT sebesar 34°C dan yang terendah pada pabrik karet yaitu 30°C. IPLT lokasinya berada di luar ruangan yang dapat menyebabkan suhunya lebih tinggi daripada yang lainnya, sedangkan IPAL Pabrik Karet posisinya berada di dalam ruangan sehingga suhunya cenderung sama dengan suhu ruangan tersebut. Hal ini sejalan dengan pendapat Yao & Peng, (2017); Blackburne et al. (2007) yang menyatakan bahwa suhu optimal untuk pertumbuhan mikroorganisme berada pada kisaran 30-

35 °C. Menurut Blackburne et al. (2007) kisaran suhu optimal untuk pertumbuhan mikroorganisme yaitu sebesar 30–35 °C. Dampak negatif suhu tinggi (di atas 40°C) juga ditemukan oleh Luo et al. (2017). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Zekker et al. (2017), peningkatan suhu dari 25°C menjadi 40°C dapat menyebabkan penurunan konsentrasi amonia sehingga menghambat pertumbuhan mikroorganisme

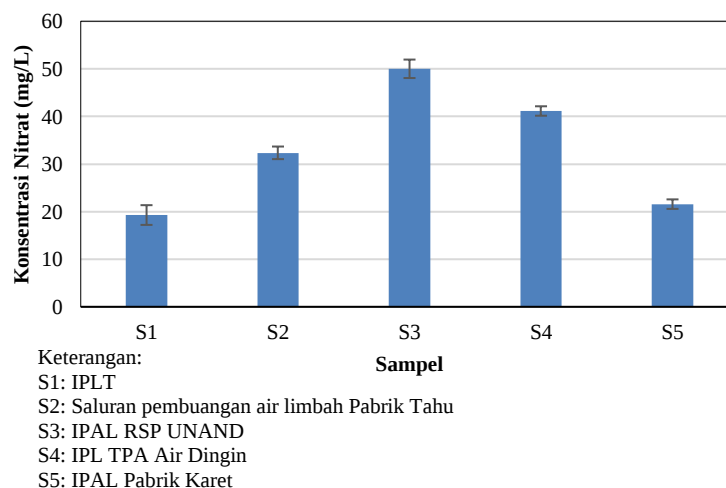
Nitrit



Gambar 2. Kandungan Nitrit Sedimen

Berdasarkan **Gambar 2**, konsentrasi nitrit tertinggi diperoleh pada IPL TPA Air Dingin yaitu sebesar 153,57 mg/L, menurut Dewi et al. (2017), kadar nitrit pada IPL TPA berkisar antara 25,579 – 25,904 mg/L. Tingginya kandungan nitrit tersebut dapat terjadi karena lambatnya proses nitrifikasi sehingga menyebabkan konsentrasi nitrit yang tinggi tidak dapat berubah menjadi nitrat. Hal ini disebabkan oleh kandungan oksigen yang rendah serta pH yang cenderung asam yang dapat membuat pertumbuhan bakteri nitrifikasi menjadi lambat. Tinggi atau pun rendahnya konsentrasi nitrit dapat dipengaruhi oleh kandungan oksigen terlarut (Rianto et al., 2021). Sedangkan pada pabrik karet, ketersediaan oksigen tidak memadai untuk melakukan proses nitrifikasi disebabkan oleh adanya akumulasi zat-zat kimia lainnya pada proses pengolahan di pabrik karet tersebut (Nainggolan et al. 2015). Untuk konsentrasi nitrit terendah yaitu pada IPAL Pabrik Karet sebesar 0,63 mg/L. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan (Aspelin & Ekholm, 2017) yaitu sebesar 0,05 – 44,9 mg/L. Hal ini dapat terjadi karena terhambatnya aktivitas mikroorganisme yang mengubah amonia menjadi nitrit sehingga langsung mengoksidasi amonia menjadi nitrat tanpa melalui proses nitrit (Aspelin & Ekholm, 2017).

Nitrat



Gambar 3. Kandungan Nitrat Sedimen

Berdasarkan hasil pengujian nitrat pada **Gambar 3**, dapat dilihat bahwa konsentrasi nitrat tertinggi berada pada IPAL RSP UNAND yaitu 50,01 mg/L. Berdasarkan penelitian sebelumnya, menurut Sciences et al. (2015) dan Kempanapura et al. (2023) kandungan nitrat yang terdapat pada IPAL rumah sakit berkisar antara 12,8 – 26,5 mg/L. Hal ini disebabkan oleh adanya zat-zat kimia baik dari obat-obatan, disinfektan, serta limbah laboratorium rumah sakit. Sedangkan pada IPLT dikarenakan oleh rendahnya kadar oksigen yang terlarut dapat menyebabkan mikroba nitrifikasi sulit berkembang biak sehingga kadar nitrat pun berkurang (Rawis et al., 2022). Kadar nitrat pada IPAL RSP UNAND dapat berasal dari protein, darah, urin, produk pembersih, disinfektan, dan obat-obatan (Y. Luo et al., 2022). Sedangkan kandungan nitrat terendah berada pada IPLT sebesar 19,28 mg/L. Nilai kandungan nitrat ini masih termasuk ke dalam rentang 15 – 97 mg/L (Ahmed et al., 2019). Hal ini berhubungan dengan kandungan oksigen yang terlarut. Apabila oksigen yang dibutuhkan oleh suatu mikroorganisme mencukupi, maka dapat membantu proses pertumbuhan mikroorganisme tersebut. Dalam hal ini nitrat merupakan bagian dari proses nitrifikasi yang membutuhkan oksigen dalam proses oksidasi NH_3 menjadi NO_2 dan oksidasi NO_2 menjadi NO_3 . Menurut Rianto et al. (2021) kepekaan mikroba nitrifikasi terhadap rendahnya kadar oksigen terlarut dapat menyebabkan mikroba tersebut sulit untuk aktif berkembang biak.

4. Kesimpulan

Hasil analisis parameter lingkungan dari 5 lokasi sampel sedimen pada unit pengolahan limbah di Kota Padang meliputi IPAL Pabrik Karet, saluran pembuangan air limbah Pabrik Tahu, IPAL RSP Universitas Andalas, IPLT, serta IPL pada TPA Air Dingin di Kota Padang, Sumatra Barat yaitu pH air (5,5 – 6,8), suhu (30 – 34 °C), salinitas (0 – 0,4 ppt), nitrit (0,63 – 153,58 mg/L), dan nitrat (19,28 – 50,01 mg/L). Umumnya, faktor-faktor yang memengaruhi parameter air serta sedimen yaitu aktivitas biologis dan kontaminan antropogenik. Tingginya konsentrasi parameter lingkungan dalam sedimen disebabkan oleh kemampuan sedimen dalam mengakumulasi dan menyerap partikel serta bahan kimia.

5. Daftar Pustaka

- Abhradeep Majumder, Ashok Kumar Gupta, Partha Sarathi Ghosal, M. V. (2020). A review on hospital wastewater treatment: A special emphasis on occurrence and removal of pharmaceutically active compounds, resistant microorganisms, and SARS-CoV-2. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, January.
- Almufid, A., & Rully, P. (2020). Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Sudi Kasus Proyek IPAL PT.Sumber Masanda Jaya di Kabupaten Brebes Profinsi Jawa Tengah Kapasitas 250 m2 / Hari. *Jurnal Teknik*, 9(1), 92–100. <https://doi.org/10.31000/jt.v9i1.2868>
- Arisa, R. P. R., Kushartono, E. W., & Atmodjo, W. (2014). Sebaran sedimen dan kandungan bahan organik pada sedimen dasar Perairan Pantai Slamaran Pekalongan. *Journal of Marine Research*, 3(3), 342–350.
- Barus, B. S., Munthe, R. Y., & Bernando, M. (2020). Kandungan Karbon Organik Total dan Fosfat pada Sedimen di Perairan Muara Sungai Banyuasin, Sumatera Selatan. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(2), 397–408. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v12i2.28211>
- Bird, E. L., Ige, J. O., Pilkington, P., Pinto, A., Petrokofsky, C., & Burgess-Allen, J. (2018). Built and natural environment planning principles for promoting health: An umbrella review. *BMC Public Health*, 18(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s12889-018-5870-2>
- Blackburne, R., Vadivelu, V. M., Yuan, Z., & Keller, J. (2007). Kinetic characterisation of an enriched Nitrospira culture with comparison to Nitrobacter. *Water Research*, 41(14), 3033–3042. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.01.043>
- Chao, Y., Mao, Y., Yu, K., & Zhang, T. (2016). Novel nitrifiers and comammox in a full-scale hybrid biofilm and activated sludge reactor revealed by metagenomic approach. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100(18), 8225–8237. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7655-9>
- Da Silva, G., Kennedy, E. M., & Dlugogorski, B. Z. (2006). Ab initio procedure for aqueous-phase pKa calculation: The acidity of nitrous acid. *Journal of Physical Chemistry A*, 110(39), 11371–11376. <https://doi.org/10.1021/jp0639243>
- Daebeler, A., Güell-Bujons, Q., Mooshammer, M., Zechmeister, T., Herbold, C. W., Richter, A., Wagner, M., & Daims, H. (2023). Rapid nitrification involving comammox and canonical Nitrospira at extreme pH in saline-alkaline lakes. *Environmental Microbiology*, 25(5), 1055–1067. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.16337>
- Daims, H., Lebedeva, E. V., Pjevac, P., Han, P., Herbold, C., Albertsen, M., Jehmlich, N., Palatinszky, M., Vierheilig, J., Bulaev, A., Kirkegaard, R. H., Von Bergen, M., Rattei, T., Bendinger, B., Nielsen, P.

- H., & Wagner, M. (2015). Complete nitrification by *Nitrospira* bacteria. *Nature*, 528(7583), 504–509. <https://doi.org/10.1038/nature16461>
- De Boer, W., & Kowalchuk, G. A. (2001). Nitrification in acid soils: Micro-organisms and mechanisms. *Soil Biology and Biochemistry*, 33(7–8), 853–866. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00247-9](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00247-9)
- Fitriani, D., Utami, W., Kirana, K. H., Agustine, E., & Zulaikah, S. (2021). Magnetic Signatures on River Sediments and Agricultural Soils as Proxy Indicators of Anthropogenic-derived Pollution (Case Study: Cikijing River, Rancaekek, West Java). *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 7(3), 381–387. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v7i3.697>
- Grunditz, C., & Dalhammar, G. (2001). Development of nitrification inhibition assays using pure cultures of *Nitrosomonas* and *Nitrobacter*. *Water Research*, 35(2), 433–440. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00312-2](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00312-2)
- Gubry-Rangin, C., Hai, B., Quince, C., Engel, M., Thomson, B. C., James, P., Schlöter, M., Griffiths, R. I., Prosser, J. I., & Nicol, G. W. (2011). Niche specialization of terrestrial archaeal ammonia oxidizers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(52), 21206–21211. <https://doi.org/10.1073/pnas.1109000108>
- Hu, H. W., & He, J. Z. (2017). Comammox—a newly discovered nitrification process in the terrestrial nitrogen cycle. In *Journal of Soils and Sediments* (Vol. 17, Issue 12, pp. 2709–2717). Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/s11368-017-1851-9>
- Ikhfini Munawaroh, Hamdani Dwi Prasetyo, H. L. (2023). Evaluasi Kadar Oksigen Terlarut, Nitrat, dan Nitrit Pada Kolam Wetland Dengan Tanaman Tasbih (*Canna indica*) Di Instalasi Pengolahan Limbah Tinja (IPLT) Supit Urang - Kota Malang. *Journal of Science and Technology*, September.
- Jan-Michael Blum, Qingxian Su, Yunjie Ma, Borja Valverde-Pierez, Carlos Domingo-Fieles, M. M. J. B. F. S. (2018). *The pH dependency of N-converting enzymatic processes, pathways and microbes: effect on net N₂O production*.
- Jhuma, M. (2016). Environment In Context: A Perspective From Environment Behavior Relation. *International Journal of Humanities and Social Science Invention*, 5(3), 37–43.
- Koch, H., van Kessel, M. A. H. J., & Lüscher, S. (2019). Complete nitrification: insights into the ecophysiology of comammox *Nitrospira*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(1), 177–189. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9486-3>
- Koda, E., Miszkowska, A., & Siczka, A. (2017). Levels of organic pollution indicators in groundwater at the old landfill and waste management site. *Applied Sciences (Switzerland)*, 7(6). <https://doi.org/10.3390/app7060638>
- Kuypers, M. M. M. (2017). Microbiology: A fight for scraps of ammonia. *Nature*, 549(7671), 162–163. <http://www.nature.com/doi/10.1038/549162a>
- Lawson, C. E., & Lüscher, S. (2018). Complete ammonia oxidation: an important control on nitrification in engineered ecosystems? *Current Opinion in Biotechnology*, 50, 158–165. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2018.01.015>
- Liu, S., Wang, H., Chen, L., Wang, J., Zheng, M., Liu, S., Chen, Q., & Ni, J. (2020). Comammox *Nitrospira* within the Yangtze River continuum: community, biogeography, and ecological drivers. *ISME Journal*, 14(10), 2488–2504. <https://doi.org/10.1038/s41396-020-0701-8>
- Luo, S., Peng, Y., Liu, Y., & Peng, Y. (2022). Research progress and prospects of complete ammonia oxidizing bacteria in wastewater treatment. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 16(9). <https://doi.org/10.1007/s11783-022-1555-2>
- Mehrani, M. J., Sobotka, D., Kowal, P., Ciesielski, S., & Makinia, J. (2020). The occurrence and role of *Nitrospira* in nitrogen removal systems. *Bioresource Technology*, 303. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122936>
- Mehrani, M. J., Sobotka, D., Kowal, P., Guo, J., & Makinia, J. (2022). New insights into modeling two-step nitrification in activated sludge systems – The effects of initial biomass concentrations, comammox and heterotrophic activities. *Science of the Total Environment*, 848(April). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157628>
- Morimoto, S., Hayatsu, M., Hoshino, Y. T., Nagaoka, K., Yamazaki, M., Karasawa, T., Takenaka, M., & Akiyama, H. (2011). Quantitative analyses of ammonia-oxidizing archaea (AOA) and ammonia-oxidizing bacteria (AOB) in fields with different soil types. *Microbes and Environments*, 26(3), 248–253. <https://doi.org/10.1264/jsme2.ME11127>
- Mota, M., Rodríguez, R., Solanas, E., & Fondevila, M. (2005). Evaluation of four tropical browse legumes as nitrogen sources: Comparison of in vitro gas production with other methods to determine N degradability. *Animal Feed Science and Technology*, 123-124 Pa, 341–350.

- <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.04.018>
- Pariente, M. I., Segura, Y., Álvarez-Torrellas, S., Casas, J. A., de Pedro, Z. M., Diaz, E., García, J., López-Muñoz, M. J., Marugán, J., Mohedano, A. F., Molina, R., Munoz, M., Pablos, C., Perdigón-Melón, J. A., Petre, A. L., Rodríguez, J. J., Tobajas, M., & Martínez, F. (2022). Critical review of technologies for the on-site treatment of hospital wastewater: From conventional to combined advanced processes. *Journal of Environmental Management*, 320(August). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115769>
- Pratiwi, R. K., Mahmudi, M., Faqih, A. R., & Arfiati, D. (2023). Dynamics of Water Quality for Vannamei Shrimp Cultivation in Intensive Ponds in Coastal Areas. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(10), 8656–8664. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i10.4322>
- Pudjowati, J., Ayu, N., Wulandari, N. S., Dwi, A., Zahirah, A., Febriyanti, D., & Prakoso, T. (2024). Pemanfaatan Air Limbah dengan Mengelola melalui IPAL di Kampung Bhumi Marinir Karang Pilang. *JSHI*, 8(5), 82–87.
- Rohyani, I. S. (2021). The Effect of Microhabitat Diversity on the Similarity of Soil Insect Types at Lombok Island, Indonesia. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 7(4), 738–745. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v7i4.807>
- Santos, J. P., Mendes, D., Monteiro, M., Ribeiro, H., Baptista, M. S., Borges, M. T., & Magalhães, C. (2018). Salinity impact on ammonia oxidizers activity and amoA expression in estuarine sediments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 211, 177–187. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.09.001>
- Sepriani, Abidjulu, J., & Kolengan, H. S. (2016). Pengaruh Limbah Cair Industri Tahu Terhadap Kualitas Air Sungai Paal 4 Kecamatan Tikala Kota Manado. *Chemistry Progress*, 9(1), 29–33.
- Shen, J., Zhang, L., Zhu, Y., & Zhang, J. (2008). *Abundance and composition of ammonia-oxidizing bacteria and ammonia-oxidizing archaea communities of an alkaline sandy loam* (pp. 1601–1611).
- Shi, X., Hu, H. W., Wang, J., He, J. Z., Zheng, C., Wan, X., & Huang, Z. (2018). Niche separation of comammox Nitrospira and canonical ammonia oxidizers in an acidic subtropical forest soil under long-term nitrogen deposition. *Soil Biology and Biochemistry*, 126(September), 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.09.004>
- Shi, Y., Jiang, Y., Wang, S., Wang, X., & Zhu, G. (2020). Biogeographic distribution of comammox bacteria in diverse terrestrial habitats. *Science of the Total Environment*, 717. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137257>
- Sobotka D, Kowal P, Zubrowska Sudoł M, and M. J. (2018). Comammox - a new pathway in the nitrogen cycle in wastewater treatment plants. *Journal of Civil Engineering and Environmental Sciences*, 4, 031–033. <https://doi.org/10.17352/2455-488x.000024>
- Stevens, B. M., Sonderegger, D. L., & Johnson, N. C. (2022). Microbial community structure across grazing treatments and environmental gradients in the Serengeti. *Soil Ecology Letters*, 4(1), 45–56. <https://doi.org/10.1007/s42832-020-0065-z>
- Sun, D., Tang, X., Zhao, M., Zhang, Z., Hou, L., Liu, M., Wang, B., Klümper, U., & Han, P. (2020a). Distribution and Diversity of Comammox Nitrospira in Coastal Wetlands of China. *Frontiers in Microbiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.589268>
- Sun, D., Tang, X., Zhao, M., Zhang, Z., Hou, L., Liu, M., Wang, B., Klümper, U., & Han, P. (2020b). Distribution and Diversity of Comammox Nitrospira in Coastal Wetlands of China. *Frontiers in Microbiology*, 11(October), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.589268>
- Sun, P., Zhang, S., Wu, Q., Zhu, P., Ruan, Y., & Wang, Q. (2021). pH and ammonium concentration are dominant predictors of the abundance and community composition of comammox bacteria in long-term fertilized Mollisol. *Applied Soil Ecology*, 168(March). <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104139>
- Supardiono, S., Rahayu, R. N., Isrowati, I., & Ernawati, E. (2023). Analysis of Water Quality in The Srigangga River Flow, Central Lombok. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(SpecialIssue), 254–259. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9ispecialissue.6394>
- Takahashi, Y., Fujitani, H., Hirono, Y., Tago, K., Wang, Y., Hayatsu, M., & Tsuneda, S. (2020). Enrichment of Comammox and Nitrite-Oxidizing Nitrospira From Acidic Soils. *Frontiers in Microbiology*, 11(July), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01737>
- Van Kessel, M. A. H. J., Speth, D. R., Albertsen, M., Nielsen, P. H., Op Den Camp, H. J. M., Kartal, B., Jetten, M. S. M., & Lüscher, S. (2015). Complete nitrification by a single microorganism. *Nature*, 528(7583), 555–559. <https://doi.org/10.1038/nature16459>
- Yang, X., Wu, Y., Shu, L., Gu, H., Liu, F., Ding, J., Zeng, J., Wang, C., He, Z., Xu, M., Liu, F., Zheng, X., & Wu, B. (2024). Unraveling the important role of comammox Nitrospira to nitrification in the coastal

- aquaculture system. *Frontiers in Microbiology*, 15(April), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1355859>
- Zhang, M., Huang, J. C., Sun, S., Rehman, M. M. U., He, S., & Zhou, W. (2021). Nitrogen removal through collaborative microbial pathways in tidal flow constructed wetlands. *Science of the Total Environment*, 758(xxxx), 143594. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143594>
- Zhang, Y., Ma, H., Chen, R., Niu, Q., & Li, Y. Y. (2018). Stoichiometric variation and loading capacity of a high-loading anammox attached film expanded bed (AAEEB) reactor. *Bioresource Technology*, 253, 130–140. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.043>
- Zheng, M., Tian, Z., Chai, Z., Zhang, A., Gu, A., Mu, G., Wu, D., & Guo, J. (2023). Ubiquitous occurrence and functional dominance of comammox *Nitrospira* in full-scale wastewater treatment plants. *Water Research*, 236(March). <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.119931>