

REVIEW STRATEGI PENGURANGAN EMISI GAS RUMAH KACA PADA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI PULP: STUDI KASUS SISTEM AEROB DAN ANAEROB

Ghina Rahima

rahimaghina@gmail.com

Universitas Muhammadiyah Banjarmasin

Nur Prettiya Shalha

nurprettiyas@gmail.com

Universitas Muhammadiyah Banjarmasin

Nor Latifah

nor_latifah@umbjm.ac.id

Universitas Muhammadiyah Banjarmasin

Korespondensi penulis: rahimaghina@gmail.com

Abstrak. *The pulp industry is a strategic sector that significantly contributes to greenhouse gas (GHG) emissions, particularly from industrial wastewater treatment activities. This study aims to estimate GHG emissions from the aerobic wastewater treatment system implemented by PT X in Sumatra and to evaluate the potential emission reduction through the application of anaerobic treatment. The emission estimation follows the 2019 IPCC guidelines. Results show that the aerobic treatment process produces indirect CO₂ emissions of 9.48 tons CO₂/day due to electricity consumption for aeration. In contrast, implementing anaerobic treatment can generate biogas with CH₄ content ranging from 3,720.83 to 5,753.44 m³/day, which can be converted into 14.88 to 24.34 MWh/day of electricity. Utilizing this biogas offers significant potential to reduce fossil fuel dependency and GHG emissions. Nevertheless, attention must be given to the potential CH₄ emissions if not captured, as well as other possible emissions such as N₂O. This study provides an alternative mitigation strategy for GHG emissions in the pulp industry through optimized wastewater treatment.*

Keywords: *pulp industry, greenhouse gas emissions, wastewater treatment, aerobic, anaerobic, biogas*

Abstrak. Industri pulp merupakan salah satu sektor strategis yang memberikan kontribusi signifikan terhadap emisi gas rumah kaca (GRK), terutama dari aktivitas pengolahan limbah cair. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi besarnya emisi GRK dari proses pengolahan limbah cair secara aerobik yang diterapkan oleh PT X di Pulau Sumatera dan mengevaluasi potensi pengurangan emisi melalui penerapan sistem pengolahan secara anaerob. Metode estimasi emisi mengacu pada pedoman IPCC tahun 2019. Hasil menunjukkan bahwa proses pengolahan aerob menghasilkan emisi CO₂ tidak langsung sebesar 9,48 ton CO₂/hari akibat konsumsi energi listrik untuk aerasi. Sementara itu, jika pengolahan anaerob diterapkan, akan dihasilkan biogas dengan kandungan CH₄ sebesar 3.720,83 – 5.753,44 m³/hari yang dapat dikonversi menjadi energi listrik sebesar 14,88 – 24,34 MWh/hari. Pemanfaatan biogas ini berpotensi signifikan dalam menurunkan ketergantungan terhadap energi fosil dan menekan emisi GRK. Namun demikian, perhatian perlu diberikan pada kemungkinan emisi CH₄ jika tidak dimanfaatkan serta potensi emisi lain seperti N₂O. Penelitian ini memberikan gambaran alternatif strategi mitigasi emisi GRK pada industri pulp melalui optimalisasi pengolahan limbah cair.

Kata Kunci: industri pulp, emisi gas rumah kaca, pengolahan limbah cair, aerob, anaerob, biogas

PENDAHULUAN

Perubahan iklim merupakan fenomena global yang terjadi dengan laju semakin cepat, terutama sejak Revolusi Industri. Salah satu penyebab utamanya adalah peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK) yang bersumber dari aktivitas manusia, termasuk sektor industri. Industri pulp menjadi salah satu sektor yang memberikan kontribusi signifikan terhadap emisi GRK, baik

secara langsung dari proses pengolahan limbah cair maupun tidak langsung melalui konsumsi energi listrik.

Proses pengolahan limbah cair secara aerobik yang lazim digunakan dalam industri pulp diketahui memiliki konsumsi energi tinggi dan menghasilkan lumpur dalam jumlah besar. Meskipun efektif dalam menurunkan kadar bahan organik, metode ini tetap menyumbang emisi GRK, khususnya CO₂ dari penggunaan listrik.

Penelitian ini dilakukan untuk mengestimasi besarnya emisi GRK dari pengolahan limbah cair secara aerobik di PT X di Pulau Sumatera serta mengkaji potensi pengurangan emisi jika pengolahan anaerob diterapkan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pencapaian target pengurangan emisi nasional sesuai *Nationally Determined Contribution* (NDC) Indonesia.

METODE

Penelitian ini dilakukan di PT X, perusahaan pulp yang berlokasi di Pulau Sumatera dan menerapkan sistem pengolahan limbah cair menggunakan metode *activated sludge* secara aerob. Data yang digunakan meliputi konsentrasi COD dan debit air limbah tahun 2022.

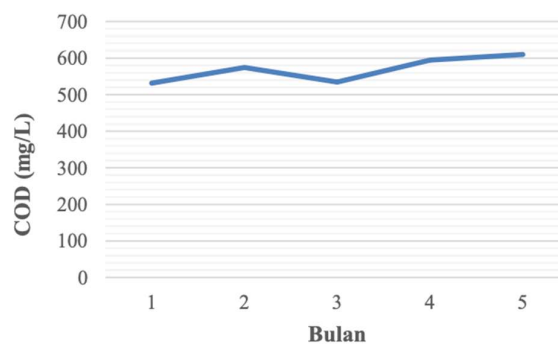
Emisi GRK dihitung berdasarkan metode IPCC 2019. Estimasi CH₄ sebagai emisi langsung dihitung berdasarkan perbedaan antara total COD dan COD yang terbuang sebagai lumpur, dikalikan faktor emisi, kemudian dikurangi CH₄ yang termanfaatkan. Sementara itu, emisi tidak langsung berupa CO₂ dihitung dari konsumsi energi listrik menggunakan faktor emisi standar.

Simulasi potensi pengurangan emisi dilakukan dengan mengasumsikan penggunaan sistem anaerobik. Biogas yang dihasilkan (terutama CH₄) dikonversi menjadi energi listrik. Rentang efisiensi dan konversi berdasarkan literatur dan standar IPCC digunakan dalam perhitungan ini.

HASIL

1. Karakteristik Limbah Cair Industri Pulp PT X

Berdasarkan hasil pengukuran selama lima bulan di PT X, diketahui bahwa konsentrasi Chemical Oxygen Demand (COD) pada limbah cair berkisar antara 530 – 630 mg/L, dengan rata-rata sebesar 569 mg/L. Nilai ini melebihi baku mutu yang ditetapkan, sehingga perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum limbah dibuang ke badan air. Konsentrasi COD sangat dipengaruhi oleh jenis dan tahapan proses dalam produksi pulp, seperti pencucian kayu, bleaching, dan penggunaan bahan kimia lainnya.



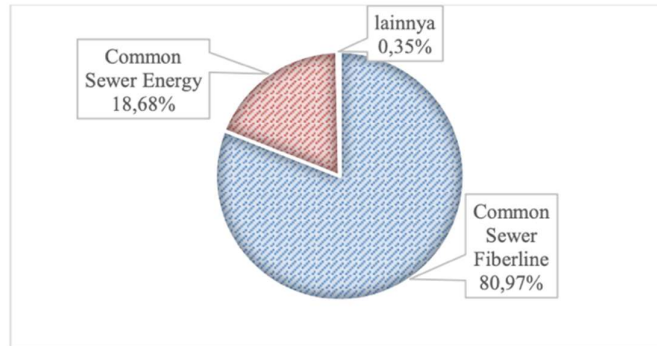
Gambar 1. Nilai rata rata bulanan parameter COD limbah cair PT X

2. Debit dan Sumber Limbah Cair

Total debit air limbah yang masuk ke sistem pengolahan mencapai **1.710 m³/jam**, yang berasal dari berbagai unit aktivitas, di antaranya:

- **Common Sewer Fiberline** (80,97%)
- **Common Sewer Energy** (18,68%)
- **Lainnya** (0,35%)

Karena perbedaan karakteristik dari masing-masing sumber, limbah cair disatukan terlebih dahulu di dalam **mixing chamber** untuk menyeragamkan parameter kualitas dan kuantitas sebelum diolah.



Gambar 2. Proporsi sumber limbah cair PT X

3. Estimasi Emisi GRK dari Proses Pengolahan Aerob

PT X saat ini menggunakan sistem **pengolahan aerob dengan teknologi activated sludge**, yang terdiri dari tahapan: primary clarifier → aeration tank → secondary clarifier.

Efektivitas penyisihan COD dari sistem ini mencapai **73%**, dengan kualitas efluen akhir yang memenuhi baku mutu sesuai Peraturan Menteri LHK No. 5 Tahun 2014. Namun, proses ini menghasilkan **emisi gas rumah kaca berupa CO₂ dari konsumsi energi listrik untuk aerator** sebesar:

- **9,48 ton CO₂/hari** atau
- **3.459,56 ton CO₂/tahun**

Emisi CO₂ ini tergolong **tidak langsung**, tetapi memiliki dampak yang signifikan terhadap jejak karbon (*carbon footprint*) produksi pulp.

Simulasi Potensi Emisi dan Energi dari Sistem Anaerob

Sebagai strategi pengurangan emisi, dilakukan simulasi penggunaan **pengolahan anaerob**. Dengan efisiensi penyisihan COD sebesar 73% (sama dengan sistem eksisting), pengolahan anaerobik diproyeksikan mampu menghasilkan biogas antara:

- **6.765,15 – 7.671,26 m³/hari**

Dengan kandungan **CH₄ sebesar 55% – 75%**, maka potensi energi listrik yang dapat dihasilkan mencapai:

- **14,88 – 24,34 MWh/hari**

Simulasi ini menunjukkan bahwa pengolahan anaerobik bukan hanya mampu mengurangi emisi dari konsumsi listrik, tetapi juga berpotensi menjadi **sumber energi terbarukan** yang dapat digunakan dalam proses produksi.

4. Perbandingan Risiko Emisi CH₄

Jika gas CH₄ yang dihasilkan tidak dimanfaatkan, maka akan berpotensi menghasilkan emisi sebesar:

- **2.664,11 – 4.119,46 kg CH₄/hari**, setara dengan
- **74,6 – 115,35 ton CO₂eq/hari**

Artinya, tanpa pemanfaatan, emisi dari sistem anaerob bisa **lebih besar daripada sistem aerob**. Oleh karena itu, pemanfaatan biogas sangat krusial dalam strategi pengurangan emisi.

PEMBAHASAN

Pengolahan aerobik efektif dari sisi kualitas limbah, tetapi menyumbang emisi GRK yang tidak kecil melalui konsumsi energi. Beralih ke sistem anaerob mampu mengurangi ketergantungan terhadap energi dari luar serta menghasilkan energi mandiri melalui biogas.

Meski demikian, penerapan anaerob memiliki tantangan teknis seperti waktu start-up yang panjang dan sensitivitas terhadap perubahan lingkungan. Emisi dari CH₄ dapat lebih tinggi jika tidak dimanfaatkan, tetapi dapat ditekan bila biogas digunakan secara optimal. Biogas yang dihasilkan dapat mengurangi kebutuhan listrik dari sumber fosil dan mengurangi carbon footprint perusahaan.

Selain itu, pengolahan anaerob menghasilkan lumpur lebih sedikit, mengurangi potensi emisi dari proses pengolahan lumpur. Strategi integratif juga dapat dilakukan melalui optimasi proses aerasi dan pemanfaatan sludge menjadi biogas sebagai alternatif mitigasi tambahan.

SIMPULAN

Pengolahan limbah cair secara aerobik oleh PT X menghasilkan emisi CO₂ sebesar 9,48 ton/hari dari konsumsi listrik. Alternatif pengolahan anaerob memiliki potensi pengurangan emisi dengan menghasilkan CH₄ sebagai sumber energi sebesar 14,88–24,34 MWh/hari. Untuk mengoptimalkan pengurangan emisi GRK, diperlukan pemanfaatan biogas secara maksimal dan evaluasi emisi lain seperti N₂O dan sumber tidak langsung lainnya.

REFERENSI

- IPCC, Climate Change 2023: Synthesis Report. Summary for Policymakers, Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, 2023.
- H. Nayeib, M. Mirabi, H. Motiee, A. Alighardashi, and A. Khoshgard, "A study on estimation of greenhouse gas emissions from industrial wastewater sector in Iran," *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, vol. 13, pp. 64–69, 2020.
- A. Nurprabowo and S. Rahayu, *Investasi Sektor Hilirisasi Hasil Sumber Daya Hutan*, Kementerian Investasi/BKPM, *Kajian Strategis Seri Energi Hijau*, 2023.
- IPCC, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019.
- Climate Change Division, Office of Atmospheric Programs, U.S. Environmental Protection Agency, *Technical Support Document for Industrial Wastewater Treatment: Final Rule for Mandatory Reporting of Greenhouse Gases*, June 2010.
- K.E. Tomberlin, R. Venditti, and Y. Yao, "Life cycle carbon footprint analysis of pulp and paper grades in the United States using production-line-based data integration," *BioResources*, vol. 15, no. 2, pp. 3899–3914, 2020.

- T. Bantacut and E. L. Ardiansy, "Chemical Oxygen Demand balance and energy recovery in wastewater treatment plant of pulp and paper industry (corrugated board)," *Journal of Natural Sciences Research*, vol. 8, no. 18, 2018.
- O. Ashrafi, L. Yerushalmi, and F. Haghighat, "Wastewater treatment in the pulp-and-paper industry: A review of treatment processes and the associated greenhouse gas emission," *Journal of Environmental Management*, vol. x, pp. 1–12, 2015.
- P. Bajpai, *Anaerobic Technology in Pulp and Paper Industry*, SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology, Springer, 2017. ISBN 978-981-10-4129-7, ISBN 978-981-10-4130-3 (eBook).
- Y. Gu, Y. Li, X. Li, P. Luo, H. Wang, X. Wang, J. Wu, and F. Li, "Energy self-sufficient wastewater treatment plants: feasibilities and challenges," *Energy Procedia*, vol. 105, pp. 3741–3751, 2017.
- H. Berger, N. Shahri, T. Eisenhut, and M. Farghadan, *Energy Efficiency in the Pulp and Paper Industry*, Sino-German Demonstration Project on Energy Efficiency in Industry, Beijing, China, July 2021.
- S. Zetterlund, O. Schwartz, M. Sandberg, and G. Venkatesh, "Computational modelling to advise and inform optimization for aeration and nutrient-dosing in wastewater treatment: Case study from pulp and paper mill in south-central Sweden," *Journal of Water Process Engineering*, vol. 56, p. 104508, 2023.
- H. Yang, Y. Guo, N. Fang, and B. Dong, "Life cycle assessment of greenhouse gas emissions of typical sewage sludge incineration treatment route based on two case studies in China," *Environmental Research*, vol. 231, p. 115959, 2023.
- P. Faubert, S. Barnabé, S. Bouchard, R. Côté, and C. Villeneuve, "Pulp and paper mill sludge management practices: What are the challenges to assess the impacts on greenhouse gas emissions?" *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 108, pp. 107–133, 2016.
- H. Ci, N. Fang, H. Yang, Y. Guo, X. Mei, and X. Zhao, "A comparison of the carbon footprints of different digested sludge post-treatment routes: A case study in China," *Processes*, vol. 12, no. 1444, 2024.