ISSN 2301 - 8607 | e-ISSN 2599-0365
AGRIDEVINA Berkala Ilmiah Agribisnis
Desember 2026, Vol 15 (2): 142–156
Doi: https://doi.org/10.33005/agridevina.v15i2.5567

Evaluasi Dampak Lingkungan dan Strategi Berkelanjutan pada Industri Pengolahan Susu Cair

Environmental Impact Evaluation and Sustainable Strategies in the Liquid Milk Processing Industry

Nadia Rustianik*, Hawa Nur Arfiah Muis, Nasywah Salsabila Alindi, Reny Jelita Dwi Nur Anggreani, Nailah Ramadhani Fadiansyah

Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

***email korespondensi:** nadiarustianik@gmail.com

Sitasi :
Rustianik, N., Muis, H. N. A., Alindi, N. S., Anggreani, R. J. D. N., & Fadiansyah, N. R. (2026). Evaluasi dampak lingkungan dan strategi berkelanjutan pada industri pengolahan susu cair. Agridevina: Berkala Ilmiah Agribisnis, 15(2), 142–156. https://doi.org/10.33005/agridevina.v15i2.5567

Editor : Nisa Hafi Idhoh Fitriana

REVIEW ARTICLE

Info Artikel:
Diajukan: 19 Des 2025
Diterima: 3 Juni 2026
Diterbitkan: 30 Des 2026

Copyright:
Copyright © 2026 Nadia Rustianik, Hawa Nur Arfiah Muis, Nasywah Salsabila Alindi, Reny Jelita Dwi Nur Anggreani, Nailah Ramadhani Fadiansyah

This article is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

Publisher by Agridevina: Berkala Ilmiah Agribisnis and Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur.

Abstrak

Pengolahan susu cair menghasilkan air limbah dengan beban organik tinggi. Kajian pustaka naratif ini mengidentifikasi dampak lingkungan dan strategi pengelolaan limbah berkelanjutan. Sebanyak 26 publikasi periode 2013–2025 dipilih berdasarkan relevansi dan kejelasan informasi, kemudian dikaji melalui analisis isi kualitatif. Air limbah memiliki kebutuhan oksigen biokimia (BOD) dan kebutuhan oksigen kimia (COD) yang tinggi serta mengandung padatan tersuspensi, unsur hara, minyak, dan lemak. Pada satu instalasi pengolahan di Jawa Timur, nilai BOD, COD, dan total padatan tersuspensi pada aliran masuk masing-masing mencapai sekitar 11,4 kali, 24 kali, dan 10,4 kali baku mutu efluen. Limbah yang tidak diolah berpotensi menyebabkan pencemaran air, eutrofikasi, degradasi tanah, dan gangguan bau. Satu instalasi melaporkan efisiensi penyisihan BOD dan COD melebihi 98%, sedangkan penyisihan amonia serta minyak dan lemak berkisar antara 62% dan 64%. Pemilihan teknologi perlu mempertimbangkan karakteristik limbah, beban pencemar, dan sasaran mutu efluen. Pemantauan rutin dan dokumen lingkungan yang sesuai mendukung pengelolaan limbah.

Kata Kunci:
Industri pengolahan susu; limbah cair; dampak lingkungan; AMDAL; teknologi pengolahan

Abstract

Liquid milk processing generates wastewater with a high organic load. This narrative review examined its environmental impacts and identified sustainable waste management strategies. Qualitative content analysis was applied to 26 publications from 2013 to 2025 selected for relevance and clarity. Dairy wastewater exhibited high biochemical oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD) and contained suspended solids, nutrients, oils, and fats. At one treatment plant in East Java, influent BOD, COD, and total suspended solids were approximately 11.4, 24, and 10.4 times their respective effluent limits. Untreated waste can contribute to water pollution, eutrophication, soil degradation, and odor emissions. One plant reported removal efficiencies exceeding 98% for BOD and COD, compared with approximately 62–64% for ammonia and for oils and fats. Treatment selection should account for wastewater characteristics, pollutant loads, and effluent quality targets. Routine monitoring and appropriate environmental documentation should support waste management throughout the liquid milk processing industry.

Keyword:
Dairy processing industry; wastewater; environmental impact; AMDAL; treatment technologies

PENDAHULUAN

Pada era globalisasi, perkembangan perusahaan dan aktivitas industri yang semakin luas memberikan dampak terhadap pertumbuhan ekonomi sekaligus menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan. Aktivitas industri yang menggunakan energi dan sumber daya dalam jumlah besar dapat menghasilkan limbah produksi yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Kondisi tersebut mendorong perlunya penerapan prinsip industri hijau *(green industry)* melalui efisiensi penggunaan energi, pemanfaatan sumber daya secara optimal, serta pengelolaan limbah yang berkelanjutan. Selain itu, penerapan standar lingkungan seperti ISO 14001 menjadi salah satu upaya untuk membantu perusahaan mengelola dampak lingkungan yang ditimbulkan dari kegiatan operasionalnya.

Industri pengolahan susu merupakan salah satu sektor industri yang menghasilkan limbah cair dari kegiatan produksinya. Limbah cair tersebut dapat berasal dari sisa bahan baku susu, kebocoran pipa, tumpahan selama proses produksi, serta kegiatan pencucian peralatan. Menurut Savira & Zamrudy, (2023) limbah cair industri susu memiliki karakteristik yang dapat dilihat dari beberapa parameter, seperti Total Suspended Solids (TSS), *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), serta minyak dan lemak. Kandungan bahan organik dalam limbah cair tersebut perlu diperhatikan karena apabila tidak diolah dengan baik, dapat menimbulkan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, pengolahan limbah cair industri susu diperlukan agar air buangan yang dihasilkan memenuhi baku mutu lingkungan.

Produksi susu semakin meningkat seiring dengan permintaan. Limbah dari proses pengolahan susu termasuk limbah organik dan anorganik dapat mencemari lingkungan terutama pada perairan dan tanah jika tidak dikelola dengan baik serta dapat menimbulkan risiko bagi ekosistem dan kesehatan masyarakat (Tabelini, 2023) . Penerapan prinsip green industry melalui inovasi teknologi bersih dapat menjadi solusi. Seperti pengolahan limbah menjadi pupuk organik atau biogas. Adopsi praktik dan produksi yang berkelanjutan dan sertifikasi lingkungan seperti ISO 14001, industri susu dapat mencegah dampak negatif terhadap keberlanjutan produksi. Berbagai Penelitian terdahulu telah mengkaji pengelolaan limbah cair industri susu. Slavov, (2016) membahas mengenai karakteristik dan alternatif pengolahan limbah susu, Menurut Savira & Zamrudy, 2023) menganalisis kualitas limbah cair pada salah satu industri susu di Jawa Timur. Dari sisi teknologi, Zakaria et al., (2020) melaporkan bahwa *semi-batch reactor* menghasilkan efluen dengan COD di bawah 100 mg/L. Silva et al., (2023) mencatat penurunan COD lebih dari 90% melalui lumpur granular aerob dan Rafidah et al., (2025) menunjukkan bahwa penurunan amonia (62,40%) serta minyak dan lemak (63,67%) masih relatif rendah dibandingkan parameter lainnya, dan Nagappan et al., (2018) menemukan bahwa kinerja filtrasi membran dipengaruhi ukuran pori dan potensi *fouling*. Temuan ini menunjukkan bahwa tidak ada satu teknologi yang efektif untuk semua jenis pencemar. Selain itu, penelitian-penelitian tersebut umumnya berfokus pada karakteristik limbah atau efektivitas teknologi tertentu, sehingga kajian yang mensintesis dampak lingkungan terhadap air, tanah, dan udara dengan strategi pengelolaan limbah berkelanjutan masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari kegiatan pengolahan susu cair dan mengidentifikasi strategi pengelolaan limbah berkelanjutan berdasarkan temuan penelitian terdahulu melalui tinjauan pustaka.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *literature review* dengan pendekatan naratif (*narrative literature review*). Menurut Ridwan et al., (2021) literature review merupakan pendekatan penelitian yang dilakukan dengan mengkaji, mengevaluasi, dan mensintesis

 https://doi.org/10.33005/agridevina.v15i2.5567

ISSN 2301 - 8607 | e-ISSN 2599-0365
Doi: https://doi.org/10.33005/agridevina.v15i2.5567

berbagai publikasi ilmiah yang relevan untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif terhadap topik yang diteliti. Pendekatan naratif dipilih karena penelitian ini bertujuan menguraikan dan mengintegrasikan hasil penelitian terdahulu mengenai dampak lingkungan pada industri pengolahan susu serta berbagai alternatif pengelolaan limbahnya. Melalui pendekatan ini, informasi dari berbagai sumber ilmiah dikaji untuk memperoleh gambaran yang menyeluruh mengenai permasalahan yang dibahas. Penelusuran literatur dilakukan melalui beberapa platform dan basis data pencarian jurnal ilmiah, yaitu Google Scholar, ScienceDirect, SpringerLink, ResearchGate, serta portal jurnal nasional seperti Garuda dan Neliti. Literatur yang digunakan meliputi artikel jurnal ilmiah, prosiding, laporan penelitian, dan dokumen kebijakan yang relevan dengan fokus penelitian. Publikasi yang menjadi bahan kajian mencakup rentang tahun 2013–2025 untuk menyesuaikan perkembangan informasi dan penelitian mengenai dampak lingkungan serta teknologi pengelolaan limbah pada industri pengolahan susu.

Proses pengumpulan data dilakukan dengan menyeleksi literatur berdasarkan kesesuaian tema, kejelasan informasi, dan relevansinya terhadap tujuan penelitian. Literatur yang membahas karakteristik limbah, dampak lingkungan, serta teknologi pengolahan limbah dalam industri pengolahan susu menjadi prioritas dalam pemilihan sumber. Sebaliknya, sumber yang kurang relevan atau tidak memiliki informasi yang memadai tidak digunakan dalam pembahasan. Literatur yang telah dipilih kemudian ditelaah dan dikelompokkan berdasarkan pokok pembahasan agar informasi yang diperoleh dapat dianalisis secara terarah. Analisis data dilakukan menggunakan teknik analisis isi (*content analysis*) dengan pendekatan deskriptif kualitatif. Analisis meliputi pengkajian informasi penting, perbandingan temuan antara sumber, serta penyusunan sintesis berdasarkan hasil penelitian terdahulu. Pembahasan dikelompokkan ke dalam beberapa aspek, yaitu karakteristik limbah industri pengolahan susu, dampak terhadap kualitas air, tanah, dan udara, serta alternatif teknologi pengolahan dan strategi pengelolaan limbah berkelanjutan. Untuk menjaga keabsahan informasi, dilakukan pengecekan silang antara literatur dengan membandingkan hasil penelitian dari beberapa sumber yang relevan. Hal ini bertujuan agar kesimpulan yang diperoleh didukung oleh berbagai publikasi ilmiah dan tidak hanya bergantung pada satu sumber (Susanto et al., 2023) melalui metode tersebut, penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai dampak lingkungan industri pengolahan susu cair serta mengidentifikasi alternatif pengelolaan limbah yang efektif dan berkelanjutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Limbah

Karakteristik limbah cair dari industri pengolahan susu bervariasi bergantung pada jenis produk, tahapan produksi, jumlah susu yang diolah, serta kegiatan pencucian peralatan. Parameter yang digunakan untuk menggambarkan karakteristik limbah pada penelitian yang ditelaah meliputi BOD, COD, TSS, pH, Total Solids (TS), serta minyak dan lemak. Ketersediaan setiap parameter berbeda antar penelitian; oleh karena itu, tabel hanya memuat nilai yang dilaporkan oleh masing-masing sumber.

Tabel 1 menunjukkan bahwa konsentrasi pencemar limbah cair industri susu dapat berbeda secara signifikan menurut jenis aliran limbah. Limbah whey, misalnya, memiliki COD sebesar 71.526 mg/L dan BOD sebesar 20.000 mg/L pada data yang dikompilasi (Rohmanna et al., 2021) . Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan data influen IPAL industri susu yang dilaporkan (Savira & Zamrudy, 2023) yaitu COD 2.402 mg/L dan BOD 454,5 mg/L. Perbedaan ini menunjukkan bahwa jenis produk samping dan tahapan proses produksi berpengaruh terhadap beban organik limbah. Data Alfiah & Pertiwi, (2024) juga menunjukkan bahwa efluen

IPAL industri susu kemasan di Pasuruan memiliki COD 26,8 mg/L dan TSS 22 mg/L setelah melalui rangkaian pengolahan.

Tabel 1. Perbandingan karakteristik limbah cair industri pengolahan susu berdasarkan jurnal Indonesia

Sumber penelitian	Jenis limbah/sampel	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)	pH	TS (mg/L)	Minyak dan lemak (mg/L)
Rohmanna et al., (2021)	Limbah pabrik susu dan pengolahan susu	4.840,6	10.251,2	5.802,6	8,34	—	—
	Efluen pengolahan susu	1.200–1.800	1.900–2.700	500–740	7,2–8,8	900–1.350	—
	Air limbah pengolahan susu	1.300–1.600	2.500–3.000	72.000–80.000	7,2–7,5	8.000–10.000	—
	Whey	20.000	71.526	22.050	4,1	56.782	—
Savira & Zamrudy, (2023)	Influen IPAL industri susu di Jawa Timur	454,5	2.402	518	—	—	3,93
Savira & Zamrudy, (2023)	Efluen IPAL industri yang sama	10,41	28,13	9	—	—	2,08
Alfiah & Pertiwi, (2024)	Efluen IPAL industri susu kemasan di Pasuruan	—	26,8	22	—	—	—

Sumber: Data diolah, 2025

Tabel 2. Baku mutu air limbah industri pengolahan susu

Parameter	Susu dasar	Susu terpadu
BOD_5	40 mg/L	40 mg/L
COD	100 mg/L	100 mg/L
TSS	50 mg/L	50 mg/L
Minyak dan lemak	10 mg/L	10 mg/L
Amonia (NH_3-N)	10 mg/L	10 mg/L
pH	6–9	6–9
Debit air limbah maksimum	1,5 m^3/ton susu diolah	2,5 m^3/ton susu diolah

Sumber: Permen LH Nomor 5 Tahun 2014 Lampiran VIII

Jika dibandingkan dengan baku mutu pada Tabel 2, influen IPAL dalam penelitian (Savira & Zamrudy, 2023) memiliki BOD sebesar 454,5 mg/L, COD 2.402 mg/L, dan TSS 518 mg/L. Nilai tersebut masing-masing sekitar 11,4 kali, 24 kali, dan 10,4 kali lebih tinggi daripada batas konsentrasi maksimum BOD_5 40 mg/L, COD 100 mg/L, dan TSS 50 mg/L. Setelah pengolahan, konsentrasi efluen turun menjadi BOD 10,41 mg/L, COD 28,13 mg/L, dan TSS 9 mg/L. Minyak dan lemak pada efluen sebesar 2,08 mg/L juga berada di bawah batas 10 mg/L. Dengan demikian, parameter yang diukur pada efluen penelitian tersebut berada di bawah nilai baku mutu yang digunakan sebagai pembanding. Namun, pH dan amonia tidak dilaporkan dalam penelitian tersebut sehingga pemenuhan kedua parameter itu tidak dapat disimpulkan.

Menurut (Alfiah & Pertiwi, 2024) pada IPAL industri susu kemasan di Pasuruan melaporkan COD efluen sebesar 26,8 mg/L dan TSS sebesar 22 mg/L, dengan efisiensi penyisihan masing-masing 98,1% dan 94,7%. Kedua nilai efluen tersebut juga berada di bawah batas COD 100 mg/L dan TSS 50 mg/L pada Lampiran VIII. Perbandingan ini memperlihatkan bahwa beberapa IPAL industri susu di Indonesia mampu menghasilkan efluen dengan

 https://doi.org/10.33005/agridevina.v15i2.5567

ISSN 2301 - 8607 | e-ISSN 2599-0365
Doi: https://doi.org/10.33005/agridevina.v15i2.5567

konsentrasi COD dan TSS di bawah baku mutu, meskipun penilaian kepatuhan secara menyeluruh tetap memerlukan data semua parameter yang diwajibkan, termasuk BOD, pH, minyak dan lemak, serta amonia.

Baku mutu pada Tabel 2 mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Lampiran VIII tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Pengolahan Susu. Penerapan pada fasilitas tertentu tetap perlu memperhatikan persyaratan dalam persetujuan teknis dan persetujuan lingkungan yang berlaku.

Karakteristik limbah cair industri susu dapat dikelompokkan menjadi tiga aspek, yaitu sifat fisik, kimia, dan biologis.

1. Sifat Fisik

Sifat fisik meliputi suhu, padatan terlarut, padatan tersuspensi, kekeruhan, konduktivitas listrik, warna, dan bau. Limbah cair industri susu umumnya tampak keruh dan dapat berwarna putih atau berubah sesuai bahan serta proses produksi. Padatan tersuspensi dapat berasal dari sisa produk, protein, lemak, dan partikel bahan baku.

2. Sifat Kimia

Sifat kimia meliputi pH, BOD, COD, alkalinitas, nitrogen, fosfor, mineral, minyak, dan lemak. Kandungan laktosa, protein, serta lemak menyebabkan tingginya beban organik yang tercermin pada nilai BOD dan COD. Nilai pH dapat berubah akibat proses fermentasi maupun penggunaan bahan pembersih asam dan basa pada kegiatan pencucian peralatan.

3. Sifat Biologis

Sifat biologis berkaitan dengan keberadaan dan aktivitas mikroorganisme dalam limbah, termasuk bakteri indikator pencemaran dan mikroorganisme lain. Kandungan bahan organik yang mudah terurai dapat mendukung pertumbuhan mikroorganisme, tetapi juga meningkatkan kebutuhan oksigen selama proses penguraian.

Beban pencemar yang tinggi pada limbah industri susu dapat menurunkan kualitas badan air apabila limbah dibuang tanpa pengolahan memadai. Bahan organik seperti laktosa, protein, dan lemak meningkatkan kebutuhan oksigen oleh mikroorganisme sehingga dapat menurunkan oksigen terlarut (DO) di perairan. Kandungan nitrogen dan fosfor yang berlebih berpotensi memicu eutrofikasi, yaitu pertumbuhan alga secara berlebihan. Penguraian biomassa alga yang mati dapat kembali meningkatkan kebutuhan oksigen. Minyak dan lemak juga dapat mengganggu pertukaran oksigen serta memengaruhi habitat organisme perairan. Oleh karena itu, karakterisasi limbah secara berkala diperlukan sebagai dasar penentuan teknologi pengolahan dan evaluasi pemenuhan baku mutu.

Pengolahan Limbah Susu Cair

Pengolahan limbah cair industri susu merupakan aspek penting untuk menjaga keberlanjutan lingkungan dan memenuhi standar baku mutu. Limbah susu cair memiliki kandungan bahan organik tinggi, seperti protein, lemak, dan laktosa, yang menyebabkan nilai BOD *(Biochemical Oxygen Demand)* dan COD *(Chemical Oxygen Demand)* cukup tinggi. Jika tidak diolah dengan baik, limbah ini dapat menimbulkan dampak negatif terhadap ekosistem perairan dan kesehatan masyarakat. Penelitian dalam rentang 2013–2025 menunjukkan bahwa pengolahan limbah cair industri susu dapat dilakukan melalui berbagai teknologi fisika, kimia, dan biologi, baik secara tunggal maupun kombinasi. Menurut Rafidah et al., (2025) sistem IPAL industri susu mampu menurunkan BOD sebesar 98,86% dan COD sebesar 98,37%. (Zakaria et al., 2020) menunjukkan bahwa semi-batch reactor yang mengkombinasikan proses fisika, kimia, dan biologi menghasilkan efluen dengan BOD 36 mg/L dan COD di bawah 100 mg/L. (Silva et al., 2023) melaporkan bahwa sistem lumpur granular aerob mampu menurunkan COD lebih dari 90% pada sebagian besar periode pengujian. Perbandingan hasil penelitian tersebut diperlukan untuk menilai efektivitas dan keterbatasan setiap teknologi

sebelum menentukan kombinasi pengolahan yang sesuai dengan karakteristik limbah dan target kualitas efluen.

Tabel 3. Sintesis penelitian tentang efektivitas pengolahan limbah cair industri susu (2013–2025)

Peneliti	Teknologi Pengolaan	Hasil Temuan	Sintesis/Keterbatasan
Nagappan et al. (2018)	Dissolved Air Flotation (DAF) dan filtrasi membran	DAF membantu memisahkan padatan dan protein. Filtrasi membran menghasilkan permeat dengan COD <1.200 mg/L pada membran yang diuji.	Tahap fisika dapat mengurangi padatan dan sebagian pencemar; kinerja membran dipengaruhi ukuran pori dan potensi fouling.
Maroneze et al., (2014)	Dissolved Ozone Flotation (DOF) dan Dissolved Air Flotation (DAF)	Membandingkan kinerja DOF dan DAF. Hasil pengolahan dipengaruhi kondisi operasional, termasuk pH; DOF tidak selalu lebih unggul daripada DAF.	Flotasi membantu pemisahan pencemar, tetapi pemilihan proses perlu mempertimbangkan kondisi operasi.
Rohmanna et al., (2021)	Pengolahan biologis aerob dan anaerob	Kajian literatur membahas penerapan proses biologis untuk menguraikan bahan organik pada limbah cair industri susu; proses anaerob berpotensi untuk beban organik tinggi.	Proses biologis berperan dalam pengurangan bahan organik; kestabilan proses dan karakteristik limbah perlu diperhatikan.
Zakaria et al., (2020)	Semi-batch reactor dengan kombinasi fisika, kimia, dan biologi	Efluen memiliki COD <100 mg/L, BOD 36 mg/L, TSS 24 mg/L, dan amonia <1 mg/L.	Menunjukkan potensi pengolahan terpadu untuk menghasilkan efluen berkualitas baik pada parameter yang diuji.
Silva et al., (2023)	Continuous-flow aerobic granular sludge	COD turun >90% pada sebagian besar periode pengujian; total karbon turun >93% pada sebagian besar periode pengujian.	Teknologi biologis aerob efektif menurunkan bahan organik pada kondisi uji; hasil dapat dipengaruhi kondisi operasi.
Rafidah et al., (2025)	Sistem instalasi pengolahan air limbah (IPAL) industri susu	Rata-rata penurunan BOD 98,86%, COD 98,37%, TSS 98,51%, ammonia 62,40%, serta minyak dan lemak 63,67%.	Kinerja IPAL tinggi untuk BOD, COD, dan TSS; penurunan amonia serta minyak dan lemak relatif lebih rendah.

Sumber: data diolah, 2025

Berdasarkan Tabel 2, efektivitas pengolahan limbah cair industri susu dipengaruhi oleh jenis teknologi dan karakteristik pencemar yang ditangani. Pengolahan fisika, seperti flotasi dan filtrasi membran, berperan dalam memisahkan padatan dan sebagian pencemar, sedangkan proses biologis berperan dalam menguraikan bahan organik. Hasil (Zakaria et al., (2020) dan Rafidah et al., (2025) memperlihatkan bahwa penerapan sistem pengolahan terpadu atau IPAL dapat menghasilkan penurunan parameter pencemar yang tinggi. Temuan tersebut mendukung penggunaan kombinasi beberapa tahapan pengolahan, tetapi tidak menunjukkan bahwa satu susunan teknologi selalu paling efektif untuk semua limbah. Pemilihan teknologi perlu disesuaikan dengan karakteristik influen, parameter pencemar, dan target kualitas efluen. Adapun metode pengolahan secara fisika, kimia, dan biologi sebagai berikut.

 https://doi.org/10.33005/agridevina.v15i2.5567

ISSN 2301 - 8607 | e-ISSN 2599-0365
Doi: https://doi.org/10.33005/agridevina.v15i2.5567

1. Proses Fisika (Pengolahan Awal)

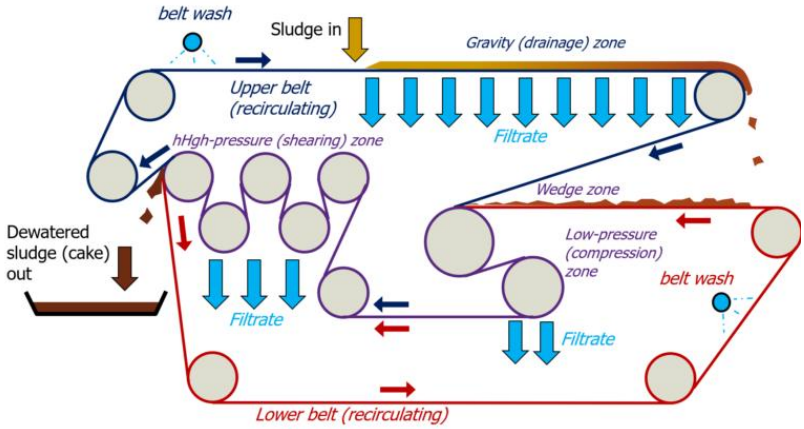
Proses fisika merupakan tahap awal dalam pengolahan limbah cair industri susu yang bertujuan menstabilkan karakteristik limbah dan mengurangi padatan kasar serta fraksi lemak sebelum masuk ke tahap kimia atau biologi. Proses ini membantu menjaga agar aliran limbah menjadi lebih merata, sehingga tahap selanjutnya bisa berjalan dengan lebih efektif. Beberapa metode fisika yang biasa digunakan antara lain equalisasi, sedimentasi, filtrasi, flotasi, dan penyaringan.

1) Penyaringan (Screening dan Filtrasi)

Penyaringan merupakan tahap awal untuk memisahkan material padat berukuran besar dari aliran limbah. Proses ini dilakukan dengan mengalirkan limbah melalui saringan yang memiliki celah tertentu sehingga material seperti sisa produk, gumpalan padatan, dan kotoran berukuran besar tertahan pada permukaan saringan. Penyaringan perlu dilakukan sejak awal untuk mencegah penyumbatan saluran dan mengurangi masuknya material padat ke unit pengolahan berikutnya. Slavov, (2016) menjelaskan bahwa penyaringan yang dilakukan lebih awal dapat mengurangi penguraian padatan tersuspensi dan peningkatan COD terlarut selama penanganan limbah.

2) Pengendapan (Sedimentasi)

Ekualisasi merupakan proses penampungan dan pencampuran limbah dalam tangki untuk menyeragamkan karakteristik aliran sebelum memasuki tahap pengolahan berikutnya. Limbah industri susu dapat memiliki debit, konsentrasi bahan organik, pH, dan suhu yang berbeda akibat perubahan aktivitas produksi serta kegiatan pencucian peralatan. Tangki ekualisasi berfungsi menampung sementara dan mencampurkan limbah agar perubahan karakteristik tersebut tidak terlalu berfluktuasi. Menurut Slavov, (2016) proses ekualisasi dapat membantu menstabilkan debit, beban organik, pH, dan suhu sehingga kinerja unit pengolahan selanjutnya dapat berlangsung lebih stabil.



Gambar 1. Tahapan Proses Pengurangan Kadar Air Lumpur Menggunakan Belt Filter Press
Sumber: Batstone *et al.* (1989, Gambar 6-37, hlm. 431).

3) Pengendapan (Sedimentasi)

Sedimentasi merupakan proses pemisahan partikel padat tersuspensi dengan memanfaatkan gaya gravitasi. Limbah dialirkan ke dalam bak pengendap sehingga partikel yang memiliki berat jenis lebih besar akan turun dan terkumpul di dasar bak sebagai lumpur *(sludge).* Sementara itu, bagian cair yang relatif lebih jernih akan dialirkan menuju tahap pengolahan berikutnya. Pada limbah industri susu, sedimentasi dapat membantu mengurangi kandungan padatan yang mampu mengendap secara alami. Namun, proses ini memiliki keterbatasan karena sebagian

partikel berukuran kecil, koloid, dan bahan organik terlarut tidak dapat dipisahkan secara optimal hanya melalui pengendapan. Slavov, (2016) menjelaskan bahwa pengolahan mekanis konvensional pada limbah susu belum cukup untuk mengurangi seluruh beban organik karena rendahnya fraksi padatan yang mudah mengendap.

Lumpur yang dihasilkan dari proses pengendapan perlu menjalani pengolahan lanjutan untuk mengurangi kadar air sebelum dimanfaatkan atau dibuang. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah sludge dewatering menggunakan alat belt filter press. Proses ini dilakukan dengan mengalirkan lumpur yang telah dikondisikan secara kimia ke atas sabuk penyaring, kemudian memisahkan air melalui gaya gravitasi dan tekanan mekanis. Pengurangan kadar air tersebut dapat memperkecil volume lumpur sehingga lebih mudah ditangani.

4) Pengapungan (Flotasi)

Flotasi merupakan metode pemisahan partikel ringan, terutama minyak dan lemak, dari air limbah dengan memanfaatkan gelembung udara. Salah satu penerapannya adalah Dissolved Air Flotation (DAF), yaitu proses pembentukan gelembung udara berukuran kecil yang kemudian menempel pada partikel lemak dan padatan tersuspensi. Partikel yang telah berikatan dengan gelembung akan naik ke permukaan dan membentuk lapisan lumpur yang selanjutnya dipisahkan menggunakan alat penyapu (skimmer). Nagappan et al., (2018) menjelaskan bahwa penerapan DAF pada limbah industri susu dapat mengurangi kandungan padatan total dan protein melalui pemisahan partikel yang mengapung. Metode ini sesuai digunakan untuk membantu mengurangi kandungan lemak dan padatan tersuspensi sebelum limbah memasuki proses pengolahan berikutnya.

5) Ekualisasi (Penyeragaman)

Filtrasi merupakan proses pemisahan partikel yang masih tersisa dalam limbah dengan menggunakan media penyaring atau membran yang memiliki ukuran pori tertentu. Berbeda dengan penyaringan awal yang berfungsi menahan material berukuran besar, filtrasi lanjutan dapat memisahkan partikel berukuran lebih kecil sesuai dengan karakteristik media yang digunakan. Salah satu teknologi yang dapat diterapkan adalah filtrasi membran, seperti mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, nanofiltrasi, dan osmosis balik. Nagappan et al., 2018) menunjukkan bahwa penggunaan filtrasi membran pada limbah industri susu mampu menurunkan kandungan COD dalam air hasil pengolahan. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa kombinasi DAF dan filtrasi membran dapat digunakan sebagai rangkaian pengolahan untuk meningkatkan kualitas air limbah. Efektivitas proses filtrasi dipengaruhi oleh ukuran pori membran, karakteristik limbah, serta kondisi operasional yang digunakan.

2. Proses Kimia

Menurut Ekoputri et al., (2024) proses kimia merupakan tahap pengolahan yang bertujuan untuk mengurangi tingkat kekeruhan, kandungan padatan tersuspensi halus, serta sebagian beban organik melalui reaksi kimia antara limbah dan bahan koagulan atau flokulan. Pada limbah cair industri susu, senyawa seperti protein, lemak emulsi, dan partikel koloid cenderung stabil dan sulit mengendap secara alami, sehingga diperlukan perlakuan kimia untuk menetralkan muatan partikel dan membentuk agregat yang lebih besar. Proses kimia biasanya diterapkan setelah pengolahan fisika awal untuk meningkatkan efisiensi pengolahan, dan juga berfungsi memperbaiki kinerja unit berikutnya, terutama proses biologis.

1) Koagulasi

Koagulasi merupakan proses penambahan bahan kimia seperti alum, PAC, atau $FeCl_3$ untuk menetralkan muatan partikel koloid dalam limbah susu, sehingga partikel

 https://doi.org/10.33005/agridevina.v15i2.5567

ISSN 2301 - 8607 | e-ISSN 2599-0365
Doi: https://doi.org/10.33005/agridevina.v15i2.5567

protein dan lemak emulsi yang semula tersuspensi dapat bergabung membentuk flok. Proses ini efektif menurunkan kekeruhan, TSS, dan sebagian COD pada limbah cair industri susu.

2) Flokulasi

Flokulasi merupakan tahap lanjutan dari koagulasi yang dilakukan dengan penambahan polimer flokulan untuk memperbesar ukuran flok melalui pengadukan lambat, sehingga partikel yang telah terdestabilisasi dapat saling berikatan membentuk gumpalan yang lebih besar. Pada pengolahan limbah susu, proses ini berperan penting dalam menghasilkan flok yang kuat dan stabil meskipun terdapat kandungan lemak dan protein, sehingga meningkatkan efisiensi pemisahan melalui sedimentasi maupun DAF secara signifikan.

3. Proses Biologis *(Biological Treatment)*

Proses biologi merupakan tahap pengolahan yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk menguraikan senyawa organik yang terdapat dalam limbah cair industri susu. Limbah susu umumnya memiliki kandungan bahan organik yang tinggi, seperti laktosa, protein larut, dan sisa lemak, sehingga proses biologi menjadi tahap utama dalam menurunkan nilai BOD dan COD secara signifikan. Pengolahan biologis dapat dilakukan tanpa oksigen (anaerob) maupun dengan suplai oksigen (aerob), dan dalam praktiknya kedua proses ini sering dikombinasikan untuk mencapai efisiensi pengolahan yang lebih optimal.

1) Proses Aerob

Proses aerob atau lumpur aktif menurut (Rohmanna et al., 2021) menggunakan mikroorganisme aerob yang membutuhkan oksigen untuk menguraikan bahan organik dalam limbah. Limbah dialirkan ke tangki aerasi, lalu oksigen disuplai melalui blower agar mikroorganisme dapat memetabolisme senyawa organik. Silva et al., (2023) menunjukkan bahwa sistem continuous-flow aerobic granular sludge mampu menurunkan COD lebih dari 90% pada sebagian besar periode pengujian. Hasil tersebut memperlihatkan potensi pengolahan biologis aerob dalam menurunkan beban organik. Proses aerob dapat digunakan setelah pengolahan fisika-kimia atau sebagai tahap lanjutan, tetapi memerlukan suplai energi untuk aerasi dan pengelolaan lumpur biologis

2) Proses Anaerob

Proses anaerob merupakan pengolahan biologis tanpa oksigen bebas yang memanfaatkan mikroorganisme anaerob untuk menguraikan senyawa organik. Menurut Rohmanna et al., (2021) proses anaerob berpotensi diterapkan pada limbah cair industri susu yang memiliki kandungan bahan organik tinggi. Proses ini dapat menghasilkan biogas dan umumnya menghasilkan lumpur biologis lebih sedikit dibandingkan proses aerob. Namun, kinerjanya dapat dipengaruhi perubahan suhu, pH, dan komposisi limbah, sehingga pengolahan awal dapat diperlukan untuk menjaga kestabilan reaktor.

Dampak Terhadap Kualitas Air

Menurut Savira & Zamrudy, (2023) Industri pengolahan susu cair merupakan salah satu subsektor industri pangan yang menghasilkan limbah cair dengan beban pencemar organik yang sangat tinggi. Limbah secara umum mengandung laktosa, lemak, protein, residu deterjen, serta bahan pembersih (alkali dan asam) yang digunakan dalam proses CIP *(Cleaning in Place).* Kandungan organik yang tinggi menyebabkan nilai *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) dalam limbah susu berada jauh di atas baku mutu. Menurut Slavov, (2016) Limbah industri susu dapat memiliki BOD mencapai 1.000-5.000 mg/L dan

COD mencapai 2.000–8.000 mg/L, sehingga ketika dibuang langsung ke air tanpa pengolahan akan menyebabkan penurunan oksigen terlarut secara drastis. Penurunan DO ini memicu kondisi hipoksia dan mengakibatkan kematian organisme akuatik seperti ikan dan makroinvertebrata. Rohmanna et al., (2021) menyatakan bahwa tingginya rasio BOD/COD menunjukkan tingginya tingkat biodegradabilitas limbah susu, sehingga mikroorganisme akan mengonsumsi oksigen dalam jumlah besar selama proses dekomposisi.

Menurut Tabelini, (2023) konsentrasi fosfat dalam limbah dapat mencapai 20–80 mg/L, suatu kondisi yang cukup untuk memicu eutrofikasi di badan air. Eutrofikasi menyebabkan pertumbuhan alga dan gulma air secara berlebihan sehingga menurunkan penetrasi cahaya, menghambat proses fotosintesis organisme air, dan menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem perairan. Limbah cair industri pengolahan susu berpotensi menurunkan kualitas air karena mengandung bahan organik, padatan tersuspensi, serta minyak dan lemak dalam konsentrasi yang cukup tinggi. Savira & Zamrudy, (2023) melaporkan bahwa hasil pengujian limbah cair pada salah satu industri susu di Jawa Timur menunjukkan konsentrasi BOD pada influent mencapai 454,5 mg/L, COD sebesar 2.402 mg/L, TSS sebesar 518 mg/L, serta minyak dan lemak sebesar 3,93 mg/L. Tingginya kandungan bahan pencemar tersebut menunjukkan bahwa limbah cair industri susu memerlukan pengolahan sebelum dibuang ke badan air.

Slavov, (2016) menjelaskan bahwa tingginya kandungan bahan organik dalam limbah industri susu, terutama karbohidrat, protein, dan lipid, menyebabkan peningkatan kebutuhan oksigen selama proses penguraian oleh mikroorganisme. Kondisi tersebut tercermin dari tingginya nilai *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Pembuangan limbah secara langsung tanpa pengolahan yang memadai dapat mengurangi ketersediaan oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*/DO) di perairan akibat aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik. Penurunan kadar oksigen terlarut berpotensi mengganggu keseimbangan ekosistem dan mengancam kelangsungan hidup organisme akuatik.

Kandungan nitrogen, fosfor, minyak, dan lemak dalam limbah cair industri susu juga berpotensi mempengaruhi kualitas perairan. (Tabelini, 2023) mengidentifikasi bahwa karakteristik limbah industri susu mencakup parameter total nitrogen (TN), total fosfor (TP), serta *fat*, *oil*, *and greas*e (FOG). Konsentrasi nitrogen dan fosfor yang berlebihan pada badan air dapat memicu eutrofikasi, yaitu pertumbuhan alga dan tumbuhan air secara berlebihan yang berpotensi mengganggu keseimbangan ekosistem perairan. Kandungan minyak dan lemak turut menambah beban pencemar dalam limbah cair sehingga memerlukan penanganan yang tepat sebelum dibuang ke lingkungan. Pengendalian kandungan bahan organik, nutrien, minyak, dan lemak menjadi aspek penting dalam menjaga kualitas air serta mencegah pencemaran akibat aktivitas industri pengolahan susu.

Dampak Terhadap Kualitas Tanah

Limbah cair dan lumpur hasil pengolahan *(sludge)* yang dibuang ke tanah tanpa pengolahan dapat menyebabkan perubahan sifat kimia, fisik, maupun biologis tanah. Industri susu menghasilkan *sludge* kaya bahan organik, nitrogen, fosfor, mineral, dan residu deterjen. Menurut Tabelini, (2023) kandungan organik tinggi dalam limbah susu memang dapat meningkatkan aktivitas mikroba tanah, tetapi jika jumlahnya berlebih justru menyebabkan ketidakseimbangan mikrobiologis dan akumulasi nutrien yang tidak diinginkan. Akumulasi nutrien dalam jangka panjang dapat menyebabkan *nutrient overload* pada tanah. Tanah yang diirigasi limbah pabrik susu dilaporkan memiliki pH serta konsentrasi fosfor yang mudah terekstrak air dan mudah tercuci yang lebih tinggi hingga kedalaman 30 cm dibandingkan tanah tanpa irigasi Lizarralde et al., (2021) Kondisi tersebut dapat menurunkan produktivitas tanah, meningkatkan risiko pencucian *(leaching)*, dan menyebabkan pencemaran air tanah. Di

 https://doi.org/10.33005/agridevina.v15i2.5567

ISSN 2301 - 8607 | e-ISSN 2599-0365
Doi: https://doi.org/10.33005/agridevina.v15i2.5567

beberapa studi, *sludge* dari industri susu mengandung residu logam seperti Zn dan Cu dari pembersihan peralatan yang jika terakumulasi dapat meningkatkan toksisitas tanah.

Limbah susu mengandung bakteri seperti *coliform* dan patogen dari tahap pencucian peralatan dan penanganan bahan baku. Jika limbah tidak diolah, bakteri dapat berpindah ke tanah, mencemari air tanah dangkal, dan berpotensi masuk rantai makanan melalui produk pertanian. Studi dari Illarze et al., (2024) limbah cair dari peternakan sapi perah mengandung bakteri indikator pencemaran, yaitu koliform total, *E. coli*, dan enterokoki, dengan jumlah yang lebih tinggi pada efluen mentah dibandingkan efluen yang telah distabilkan dalam lagoon. Kandungan lemak yang tinggi dalam limbah cair industri susu dapat memengaruhi proses penguraian bahan organik. Logan et al., (2022) menjelaskan bahwa akumulasi lipid dalam proses pengolahan limbah secara anaerob dapat memengaruhi kinerja proses degradasi bahan organik dan produksi biogas. Dalam kondisi anaerob, lipid dapat diuraikan oleh mikroorganisme melalui tahapan degradasi yang berpotensi menghasilkan gas metana (CH_4). Seiring waktu, tanah yang terpapar limbah kaya lemak dan bahan organik mudah mengalami pemadatan, daya dukung tanah menurun, dan struktur agregat tanah menjadi kurang stabil.

Dampak Terhadap Kualitas Udara

Industri pengolahan susu cair tidak hanya menghasilkan limbah cair dan padat, tetapi juga berpotensi menimbulkan pencemaran udara akibat aktivitas produksi dan pengolahan limbah. Limbah organik yang mengandung protein, laktosa, dan lemak dapat mengalami proses dekomposisi biologis yang menghasilkan senyawa volatil penyebab bau tidak sedap. Wu et al., (2020) melaporkan bahwa aktivitas peternakan sapi perah dan pengelolaan limbahnya dapat menghasilkan emisi gas amonia (NH_3) dan hidrogen sulfida (H_2S), yang memiliki karakteristik bau menyengat dan berpotensi memengaruhi kualitas udara di lingkungan sekitar. Selain itu, Valach et al., (2023) menunjukkan bahwa fasilitas pengolahan air limbah pada sektor peternakan sapi perah juga dapat menjadi sumber emisi amonia.

Dampak terhadap kualitas udara juga dapat berasal dari emisi gas rumah kaca selama proses produksi dan pengolahan susu. Santa et al., (2024) menjelaskan bahwa aktivitas pengolahan susu pada fasilitas industri berkontribusi terhadap jejak karbon, terutama berkaitan dengan penggunaan energi dalam proses produksi. Sementara itu, kasus pencemaran udara akibat limbah susu di PT Ultra Jaya Milk Industri di Kabupaten Bandung Barat juga pernah dibahas oleh Nadia, (2018) yang melaporkan adanya limbah berbau busuk dan keluhan masyarakat sekitar akibat aktivitas industri tersebut.

Rekomendasi

Berdasarkan hasil evaluasi literatur, pengelolaan limbah cair industri pengolahan susu perlu dilakukan melalui pemilihan teknologi yang disesuaikan dengan karakteristik limbah, beban pencemaran, dan target kualitas efluen. Tahap pengolahan awal, seperti ekualisasi dan penyaringan, direkomendasikan untuk menstabilkan debit serta mengurangi padatan kasar sebelum limbah memasuki unit pengolahan berikutnya. Penggunaan teknologi flotasi, seperti *Dissolved Air Flotation* (DAF), dapat dipertimbangkan apabila limbah memiliki kandungan minyak, lemak, dan padatan tersuspensi yang tinggi. Filtrasi membran juga dapat diterapkan sebagai pengolahan lanjutan untuk meningkatkan kualitas efluen, dengan memperhatikan ukuran pori dan potensi penyumbatan membran (Nagappan et al., 2018)

Pengolahan biologis direkomendasikan sebagai salah satu tahap utama untuk menurunkan kandungan bahan organik, terutama BOD dan COD. Sistem aerob dapat dipertimbangkan sebagai pengolahan lanjutan karena mampu menurunkan beban organik secara signifikan, sebagaimana ditunjukkan oleh penelitian (Silva et al., 2023) melalui penerapan *continuous-flow aerobic granular sludge*. Pada limbah dengan konsentrasi bahan organik tinggi, proses anaerob dapat dipertimbangkan sebagai alternatif pengolahan biologis.

Kombinasi proses fisika, kimia, dan biologi juga dapat diterapkan apabila karakteristik limbah memerlukan beberapa tahapan pengolahan. Hal ini didukung oleh (Zakaria et al., 2020) yang melaporkan bahwa sistem *semi-batch reactor* menghasilkan efluen dengan COD di bawah 100 mg/L dan BOD sebesar 36 mg/L. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemilihan teknologi perlu didasarkan pada kebutuhan pengolahan, bukan hanya pada anggapan bahwa satu metode selalu lebih unggul dibandingkan metode lainnya.

Aspek pengelolaan lingkungan juga perlu diperhatikan sejak tahap perencanaan kegiatan industri melalui pemenuhan persyaratan persetujuan lingkungan. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, dokumen lingkungan yang diperlukan ditentukan berdasarkan jenis kegiatan, skala atau besaran usaha, potensi dampak penting, serta lokasi kegiatan. Kegiatan yang wajib AMDAL harus melalui penyusunan dokumen yang meliputi Formulir Kerangka Acuan, Analisis Dampak Lingkungan Hidup (ANDAL), serta Rencana Pengelolaan Lingkungan Hidup dan Rencana Pemantauan Lingkungan Hidup (RKL-RPL). Kegiatan yang tidak memenuhi kriteria wajib AMDAL dapat dikenai kewajiban UKL-UPL atau SPPL sesuai ketentuan yang berlaku. Penentuan kewajiban dokumen lingkungan untuk industri pengolahan susu perlu mengacu pada kriteria dan daftar jenis usaha dan/atau kegiatan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 4 Tahun 2021.

Ruang lingkup kajian AMDAL pada industri pengolahan susu perlu memperhatikan sumber dan karakteristik limbah cair dari proses produksi, pencucian peralatan, serta kegiatan pendukung lainnya. Kajian tersebut mencakup identifikasi potensi dampak terhadap kualitas air permukaan, air tanah, dan lingkungan di sekitar lokasi industri. Hasil kajian menjadi dasar penyusunan langkah pengelolaan dan pemantauan lingkungan dalam dokumen RKL-RPL. Keterkaitan AMDAL dengan pemilihan teknologi pengolahan limbah terletak pada penggunaan hasil identifikasi dan prakiraan dampak untuk menentukan kebutuhan pengendalian pencemar, kapasitas instalasi pengolahan air limbah (IPAL), teknologi yang sesuai, serta parameter yang harus dipantau. Dengan demikian, pemilihan teknologi tidak hanya mempertimbangkan efisiensi penurunan BOD dan COD, tetapi juga pemenuhan baku mutu air limbah dan komitmen pengelolaan lingkungan.

Pemantauan kinerja IPAL perlu dilakukan secara berkala melalui pengujian parameter pencemar, seperti BOD, COD, TSS, amonia, serta minyak dan lemak. Hasil pengujian perlu digunakan untuk mengevaluasi efektivitas setiap unit pengolahan dan menentukan kebutuhan perbaikan operasional. Penelitian (Rafidah et al., 2025) menunjukkan bahwa penurunan beberapa parameter pencemar pada IPAL industri susu tidak selalu sama, sehingga pengawasan tidak cukup hanya berfokus pada BOD dan COD. Pengelola industri juga perlu memperhatikan parameter yang penurunannya relatif lebih rendah, seperti amonia serta minyak dan lemak. Penerapan pengolahan yang sesuai dengan karakteristik limbah, pemenuhan persetujuan lingkungan, dan pemantauan berkala diharapkan dapat mendukung pengelolaan limbah cair industri susu secara efektif dan berkelanjutan.

KESIMPULAN

Limbah industri pengolahan susu cair berpotensi menurunkan kualitas air, tanah, dan udara, dengan dampak yang paling banyak terdokumentasi pada kualitas air. Pada salah satu IPAL industri susu di Jawa Timur, kadar BOD, COD, dan TSS pada aliran masuk masing-masing mencapai 11,4 kali, 24 kali, dan 10,4 kali baku mutu efluen. Beban organik yang tinggi dapat menurunkan kadar oksigen terlarut, sedangkan nitrogen dan fosfor dapat memicu eutrofikasi. Sistem pengolahan terpadu pada salah satu IPAL dilaporkan mampu menyisihkan BOD dan COD lebih dari 98%, sementara efisiensi penyisihan amonia serta minyak dan lemak berkisar antara 62% dan 64%. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa pemilihan proses pengolahan perlu mempertimbangkan karakteristik limbah, pencemar yang dominan, dan sasaran mutu efluen.

 https://doi.org/10.33005/agridevina.v15i2.5567

SARAN

Pengelola industri susu cair disarankan melakukan karakterisasi limbah secara berkala serta memantau kualitas influen dan efluen untuk menilai kinerja IPAL. Pemantauan perlu mencakup seluruh parameter baku mutu yang berlaku, dengan perhatian khusus pada amonia serta minyak dan lemak karena efisiensi penyisihannya lebih rendah pada kasus yang dikaji. Hasil pemantauan dapat digunakan untuk menyesuaikan proses pengolahan dan mengevaluasi pelaksanaan pengelolaan lingkungan sesuai dokumen AMDAL, UKL-UPL, atau SPPL yang berlaku bagi kegiatan tersebut. Penelitian selanjutnya disarankan membandingkan teknologi pada kondisi influen yang sebanding dengan mempertimbangkan efisiensi penyisihan, konsumsi energi, dan biaya operasional. Kajian lapangan juga diperlukan untuk mengukur dampak limbah terhadap tanah dan udara serta menilai kelayakan pemanfaatannya sebagai biogas atau pupuk organik.

DAFTAR PUSTAKA

Alfiah, T., & Pertiwi, D. D. (2024). Performance of Dairy Factory Wastewater Treatment Plant (Case Study of Pasuruan Dairy Factory East Java). *Journal of Community Based Environmental Engineering and Management*, *8*(2), 181–186. https://doi.org/10.23969/jcbeem.v8i2.17576

C. A. Lizarralde, R. W. McDowell, L. M. Condron, & J. Brown. (2021). Potential phosphorus losses from grassland soils irrigated with dairy factory wastewater. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *121*(1), 69–84.

Fitria Ekoputri, S., Rahmatunnissa, A., Nulfaidah, F., Ratnasari, Y., Djaeni, M., & Sari, D. A. (2024). *Pengolahan Air Limbah dengan Metode Koagulasi Flokulasi pada Industri Kimia*. *IX*(1), 7781–7787.

Illarze, G., del Pino, A., & Irisarri, P. (2024). Differences in Bacterial Communities and Pathogen Indicators of Raw and Lagoon-Stabilized Farm Dairy Effluents. *Microorganisms*, *12*(2). https://doi.org/10.3390/microorganisms12020305

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2016). Peraturan Menteri LHK Nomor P.102 Tahun 2016: Pedoman Penyusunan Dokumen Lingkungan Hidup bagi Usaha dan/atau Kegiatan yang Telah Memiliki Izin Usaha dan/atau Kegiatan tetapi belum memiliki Dokumen Lingkungan Hidup (P.102/2016).

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2018). Peraturan Menteri LHK Nomor P.26 Tahun 2018: Pedoman Penyusunan dan Penilaian serta Pemeriksaan Dokumen Lingkungan Hidup dalam Pelaksanaan Pelayanan Perizinan Berusaha Terintegrasi Secara Elektronik (P.26/2018).

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2021). Peraturan Menteri LHK Nomor 4 Tahun 2021: Daftar Usaha dan/atau Kegiatan yang Wajib Memiliki Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Hidup, Upaya Pengelolaan Lingkungan Hidup dan Upaya Pemantauan Lingkungan Hidup atau Surat Pernyataan Kesanggupan Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan Hidup (P.4/2021).

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2022). Status Lingkungan Hidup Indonesia (SLHI) 2022 sebagai dokumen pendukung perkembangan kebijakan dan pelaksanaan pemantauan.

Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. (2014). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, Lampiran VIII: Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Pengolahan Susu.

Logan, M., Tan, L. C., Nzeteu, C. O., & Lens, P. N. L. (2022). Enhanced anaerobic digestion of dairy wastewater in a granular activated carbon amended sequential batch reactor. *GCB Bioenergy*, *14*(7), 840–857. https://doi.org/10.1111/gcbb.12947

Maroneze, M. M., Zepka, L. Q., Vieira, J. G., Queiroz, M. I., & Jacob-Lopes, E. (2014). A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. *Revista Ambiente e Agua*, *9*(3), 445–458. https://doi.org/10.4136/1980-993X

Nadia Pusfita Sari. (2018). *Pencemaran Udara Akibat Limbah Susu oleh PT. Ultra Jaya Milk Industri di Kabupaten Bandung Barat Dihubungkan dengan Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Universitas Pasundan.

Nagappan, S., Phinney, D. M., & Heldman, D. R. (2018a). Management of waste streams from dairy manufacturing operations using membrane filtration and Dissolved Air Flotation. *Applied Sciences (Switzerland)*, *8*(12). https://doi.org/10.3390/app8122694

Nagappan, S., Phinney, D. M., & Heldman, D. R. (2018b). Management of waste streams from dairy manufacturing operations using membrane filtration and Dissolved Air Flotation. *Applied Sciences (Switzerland)*, *8*(12). https://doi.org/10.3390/app8122694

Rafidah, A. N., Firmansyah, I., Pratopo, L. H., & Thoriq, A. (2025). Analisis Sistem Pengelolaan Limbah Industri Susu dan Pemanfaatannya. *Seminar Nasional Sains*, (5), 905 - 910. https://doi.org/10.29407/r7xjyy64

Ridwan, M., Ulum, B., Muhammad, F., Indragiri, I., & Sulthan Thaha Saifuddin Jambi, U. (2021). *Pentingnya Penerapan Literature Review pada Penelitian Ilmiah (The Importance of Application of Literature Review in Scientific Research)*. http://journal.fdi.or.id/index.php/jmas/article/view/356

Rohmanna, N., Azizah, N., & Hidayat, N. (2021). Teknologi Penanganan Limbah Cair Industri Pengolahan Susu Sapi Secara Biologis: Artikel Review. *Biotropika: Journal of Tropical Biology*, *9*(2), 121–130. https://doi.org/10.21776/ub.biotropika.2021.009.02.04

Santa, D., Srbinovska, S., & Dzabirski, V. (2024). Carbon Footprint And Emission Reduction Strategies In Milk Processing Plants: Towards Sustainable Dairy Production Systems. *Journal of Agricultural, Food and Environmental Sciences*, *78*(1), 8–13. https://doi.org/10.55302/jafes2478108s

Savira, S. A., & Zamrudy, W. (2023). Analisis Tss, BOD, COD, dan Minyak Lemak Limbah Cair Pada Industri Susu. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, *9*(3), 266–278. https://doi.org/10.33795/distilat.v9i3.3722

Silva, J. F., Silva, J. R., Santos, A. D., Vicente, C., Dries, J., & Castro, L. M. (2023). Continuous-Flow Aerobic Granular Sludge Treatment of Dairy Wastewater. *Water (Switzerland)*, *15*(6). https://doi.org/10.3390/w15061066

Slavov. (2016). General Characteristics and Treatment Possibilities of Dairy Wastewater – A Review. *Food Technology and Biotechnology*, *55(1)*, 14–28. https://doi.org/10.17113/ftb.55.01.17.4520

Susanto, Risnita, & M.Syahran Jailan. (2023). Teknik pemeriksaan keabsahan data dalam penelitian ilmiah. *Jurnal QOSIM: Jurnal Pendidikan Sosial & Humaniora*, *1*((1)), 53–61. https://doi.org/10.61104/jq.v1i1.60

Tabelini, L. B. A. (2023). A review on the characteristics and methods of dairy industry wastewater treatment in the state of Minas Gerais, Brazil. *Journal of Water Process Engineering*, *53*. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103779

Valach, A. C., Häni, C., Bühler, M., Mohn, J., Schrade, S., & Kupper, T. (2023). Ammonia emissions from a dairy housing and wastewater treatment plant quantified with an inverse dispersion method accounting for deposition loss. *Journal of the Air & Waste Management Association*, *73*(12), 930–950. https://doi.org/10.1080/10962247.2023.2271426

Wu, C., Yang, F., Brancher, M., Liu, J., Qu, C., Piringer, M., Schauberger, G., & Schauberger GuntherSchauberger, G. (2020). Determination of ammonia and hydrogen sulfide emissions from a commercial dairy farm with an exercise yard and the health-related impact for residents. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*, 37684–37698. https://doi.org/10.1007/s11356-020-09858-y/Published

Zakaria, A., Tanjung, E., & Fay, K. (2020). *Pengolahan Air Limbah Industri Susu Dengan Sistem Semi Batch Reactor*. 44 (2), 22 - 29. https://doi.org/10.55075/wa.v44i2.13